Aus der Augenklinik der Universität Würzburg
Direktor: Professor Dr.Dr.h.c. W. Leydhecker

DIE VARIANZ DER BEFUNDERHEBUNG BEI DER KINETISCHEN UND DER COMPUTERGESTEUERTEN PERIMETRIE

I N A U G U R A L - D I S S E R T A T I O N

verfaßt und der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Julius-Maximilians-Universität Würzburg
zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde

vorgelegt von
Manfred Pröll
aus Schweinfurt

Würzburg, den 04.11.1980

Aus der Augenklinik der Universität Würzburg
Direktor: Professor Dr.Dr.h.c. W. Leydhecker

DIE VARIANZ DER BEFUNDERHEBUNG BEI DER KINETISCHEN UND DER COMPUTERGESTEUERTEN PERIMETRIE

I N A U G U R A L - D I S S E R T A T I O N

verfaßt und der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Julius-Maximilians-Universität Würzburg
zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde

vorgelegt von
Manfred Pröll
aus Schweinfurt

Würzburg, den 04.11.1980

Referent: Privatdozent Dr. med. G. K. Krieglstein

Korreferent: Professor Dr. Dr. h. c. W. Leydhecker

Dekan: Professor Dr. med. K.-H. Wulf

Tag der mündlichen Prüfung: 15.12.1980

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität Würzburg

Meinen Eltern

in Dankbarkeit

Inhaltsverzeichnis

I. Einleitung und Fragestellung 1

II. Methodik

1. Sinnesphysiologische Grundlagen der Perimetrie 3

2. Kinetische Perimetrie nach Goldmann

2.1. Apparative Methodik 7

2.2. Klinik der kinetischen Perimetrie 11

3. Statische, computergesteuerte Perimetrie nach Krakau/Heijl

3.1. Die Entwicklung der computergesteuerten Perimetrie 14

3.2. Apparative Methodik 15

3.3. Klinik der computergesteuerten Perimetrie 21

4. Vergleichende Perimetrie mit beiden Methoden 28

5. Auswertung der Ergebnisse 31

III. Ergebnisse

1. Die Reproduzierbarkeit der Befunde bei der kinetischen Perimetrie 39

2. Die Reproduzierbarkeit der statischen, computergesteuerten Perimetrie des zentralen Gesichtsfeldes 44

3. Die Reproduzierbarkeit der Prüfung des blinden Flecks 54

4. Vergleichende Reproduzierbarkeit zwischen kinetischer und computergesteuerter Perimetrie 57

5. Klinische Beispiele der vergleichenden Perimetrie mit kinetischer Untersuchungsmethode und computergesteuerter, statischer Untersuchungsmethode 58

IV. Diskussion der Ergebnisse 65
V. Schlußfolgerungen 75
VI. Zusammenfassung 77
VII. Literaturverzeichnis 79

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41543520_0081

I. Einleitung und Fragestellung

Nach LAUBER (1944) und DUBOIS-POULSEN (1952) kann man das Jahr 1856, in dem Albrecht von GRAEFE seine Arbeit "Über die Untersuchung des Gesichtsfeldes bei amblyopischen Affektionen" veröffentlichte, als das Geburtsjahr der klinischen Perimetrie bezeichnen. TRAQUAIR (1927) gab wesentliche Impulse für das Verständnis eines dreidimensionalen Gesichtsfeldes, indem er von einem "hill of vision" sprach. In den folgenden Jahrzehnten erkannten Augenärzte, Neurologen und Ärzte anderer Fachrichtungen immer mehr die Bedeutung der Gesichtsfelduntersuchung für Diagnosestellung und Therapieverlauf vieler Krankheitsbilder. Es wurden deshalb immer neue Methoden und Geräte entwickelt, um eine möglichst genaue Untersuchung des Gesichtsfeldes zu ermöglichen.

Mit seinen Arbeiten "Grundlagen exakter Perimetrie" und "Ein selbstregistrierendes Projektionskugelperimeter" setzte Hans GOLDMANN 1945 Leitlinien für die genaue Befunderhebung des Gesichtsfeldes. Nach SCHOBER (1969) sind die "anspruchvollsten, für alle Zwecke der quantitativen Perimetrie geeigneten Geräte" das Tübinger Perimeter nach Harms und das Perimeter nach Goldmann. Beides sind Halbkugelperimeter, die weltweit in der klinischen Routine und am häufigsten in der augenärztlichen Praxis verwendet werden.

Bei der Prüfung des Gesichtsfeldes handelt es sich um eine subjektive Untersuchungsmethode, deren Ergebnisse abhängig sind vom Untersucher, vom Untersuchten und vom Eigenfehler des Untersuchungsgerätes. Deshalb kann die wiederholte Perimetrie des gleichen Auges eines Patienten durch verschiedene Untersucher trotz Einhaltung einer vorgegebenen Untersuchungstechnik durchaus unterschiedliche Befunde ergeben. GOLDMANN betonte 1969, "daß Perimetrie, besonders kinetische Perimetrie, eine Kunst ist". Auch HARRINGTON (1975) bezeichnet richtiges Perimetrieren als eine Kunst. Hieraus spricht deutlich, wie schwierig es ist, bei einem Patienten einen reproduzierbaren Gesichtsfeldbefund zu erheben. Die Subjektivität des Untersuchers spielt eine wichtige Rolle hinsichtlich des Ergebnisses der Perimetrie.

BERRY, DRANCE und WIGGINS (1966) überprüften die Unterschiede bei Gesichtsfeldern, die von zwei verschiedenen Untersuchern erhoben worden waren. Auch NIESEL (1967, 1970) untersuchte die "Streuungen perimetrischer Untersuchungsergebnisse". LEYDHECKER (1976) wies auf die deutlichen Differenzen zwischen Gesichtsfeldbefunden hin, die von verschiedenen Untersuchern erstellt worden waren. CALIXTO, WAISBERG, COSTA und GOMES (1978) fanden statistisch signifikante Beobachter-Differenzen, selbst bei erfahrenen Untersuchern. Alle diese Untersuchungen zeigen deutlich, wie schwierig es ist, Gesichtsfeldbefunde miteinander zu vergleichen, wenn diese von verschiedenen Untersuchern erhoben wurden.

Bei vielen ophthalmologischen, neurologischen und internistischen Krankheitsbildern ist es jedoch von Bedeutung, einen exakten Gesichtsfeldbefund zu erstellen, das heißt einen Gesichtsfeldbefund, der möglichst unbeeinflußt ist von der Subjektivität des Untersuchers und des Untersuchten sowie vom Gerätefehler, um diesen im Verlauf einer Therapie mit Vorbefunden zu vergleichen. Vor allem bei Glaukompatienten und neurologisch Erkrankten ist die Zunahme von Gesichtsfeldausfällen ein wichtiges Kriterium für die weitere Therapie. Es ist für den Arzt äußerst wichtig zu wissen, inwieweit das Gesichtsfeld sich verschlechtert hat oder ob die beobachtete Befundänderung innerhalb der Streuung der Beobachter- und Patientenvarianz bei dieser Untersuchungsmethode liegt.

Im letzten Jahrzehnt wurden verschiedene automatische Perimetriersysteme entwickelt, die es ermöglichen, mittels einer computergesteuerten Gesichtsfelduntersuchung die Beobachtervarianz zu eliminieren. Da diese computergesteuerte Perimetrie neben dem Wegfall der Untersuchervarianz zahlreiche weitere Vorteile bietet, hat sie in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen.

Das Ziel der vorliegenden Studie war es, bei einer Reihe von Patienten, die bei früheren Gesichtsfelduntersuchungen Veränderungen des zentralen Gesichtsfeldes zeigten, die kinetische Perimetrie nach Goldmann und die computergesteuerte Perimetrie nach Krakau und Heijl hinsichtlich der Reproduzierbarkeit ihrer Ergebnisse zu vergleichen.

II. Methodik

1. Sinnesphysiologische Grundlagen der Perimetrie

Die Perimetrie zählt zu den "sogenannten subjektiven Untersuchungsverfahren der Sinnesphysiologie" (KEIDEL, 1976), bei denen eine wache und reaktionsfähige Versuchsperson nach Reizwahrnehmungen befragt wird. Der Netzhaut des menschlichen Auges werden Lichtreize unterschiedlicher Leuchtdichte dargeboten und damit die Intensitätsschwellen an verschiedenen Netzhautorten untersucht. Die Netzhaut stellt das Transformationsorgan des Auges dar, indem sie die mittels des Antransportorgans geometrisch optisch auf ihr abgebildete Strahlung in physiologische Erregung umwandelt (KEIDEL, 1976). Diesem Transformationsvorgang dient der Sehteil der Netzhaut mit seinen ca. 130 Millionen Rezeptoren (rund 7 Millionen Zapfen, der Rest Stäbchen) (DODT, 1975). Die in den Photorezeptoren vorhandenen Photopigmente wandeln die auftreffenden Lichtquanten in nervöse Impulse um, die vom Gehirnteil der Retina, ihren Nervenzellen mit Fortsätzen, weitergeleitet werden.
Die Sinnesrezeptoren sind über die Netzhaut unterschiedlich verteilt, wobei in der Macula lutea in einem Bereich von ca. drei Grad nur Zapfen, in einem Übergangsbereich Stäbchen und Zapfen und in der Peripherie nur Stäbchen vorkommen. Die beiden Sinnesepithelarten unterscheiden sich funktionell darin, daß die Zapfen neben der Schwarz-Weiß-Erregbarkeit auch auf die verschiedenen Farben ansprechen, während die Stäbchen farbunempfindlich sind (Duplizitätstheorie des Sehens). Dafür haben diese eine höhere Absolutempfindlichkeit, deren Ursache teils chemischer Natur ist, teils auf dem Zusammenwirken mehrerer Stäbchen auf eine weiterleitende Nervenfaser beruht. Die Zapfen sind im allgemeinen immer mit einer einzelnen Nervenfaser verbunden.
Entsprechend der Duplizitätstheorie unterscheidet man das Tages- und das Dämmerungssehen des Auges, die photopische und skotopische Leistung des Auges. Dieses kann sich wegen der unterschiedlichen Empfindlichkeit seiner Sinneszellen in beträchtlichem Umfang der jeweils vorhandenen Beleuchtung anpassen

(Hell- und Dunkeladaptation). Der Adaptationszustand des Auges ist bei der perimetrischen Untersuchung zu berücksichtigen und sollte während der gesamten Untersuchungszeit konstant sein. Dieser konstante Adaptationszustand des Auges wird durch eine konstante Umfeldleuchtdichte des Perimeters gewährleistet. Die Leuchtdichte kann man dabei nach DRASCHE et al. (1976) definieren als die "Lichtstärke einer selbstleuchtenden oder reflektierenden Fläche geteilt durch ihre vom Auge gesehene (bewertete) Größe als Maßstab für die Helligkeit der Fläche". Die Maßeinheit der Leuchtdichte ist Candela/m^2 (cd/m^2), die immer noch gebräuchliche alte Einheit ist das Apostilb (asb), wobei 1 asb = 0,318 cd/m^2. Diese beiden Maßeinheiten werden folgendermaßen ineinander umgerechnet:

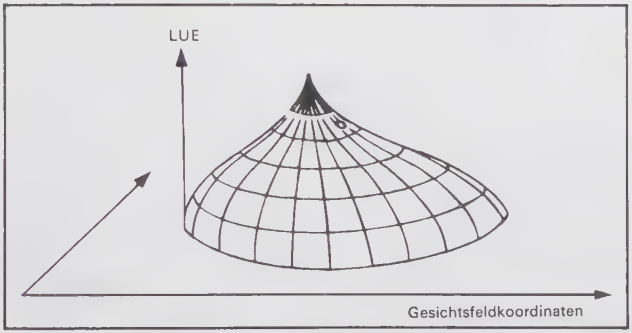
$$1\ cd/cm^2 = 1\ \text{Stilb (sb) (HAASE, 1971).}$$

$$1\ asb = \frac{10^{-4}}{\pi}\ sb\ \text{(HARTEN, 1974).}$$

Daraus folgt: $1\ asb = 0{,}318 \cdot 10^{-4}\ sb$ beziehungsweise

$$1\ asb = 0{,}318\ cd/m^2.$$

Während der perimetrischen Untersuchung wird die Netzhaut Lichtreizen unterschiedlicher Leuchtdichte ausgesetzt und damit die Empfindlichkeit an verschiedenen Netzhautorten bestimmt. Das Gesichtsfeld ist der Teil des Raumes, in dem Objekte vom stetig fixierenden Auge gleichzeitig gesehen werden (HARRINGTON, 1976). Entsprechend der Anordnung der Sinnenszellen ist die Netzhautempfindlichkeit in der Fovea centralis am größten und nimmt zur Peripherie hin direkt proportional dem Abstand der Stäbchen und Zapfen voneinander ab. TRAQUAIR (1927) verglich das Gesichtsfeld mit einem "hill of vision", der umgeben wird vom Meer der Blindheit. Bei der Untersuchung dieses "Gesichtsfeldberges" geht man am besten von einer dreidimensionalen Vorstellung des Lichtsinnes aus (AULHORN, 1973). Die Grundfläche des Gesichtsfeldberges entspricht dabei der flächigen Ausdehnung des Gesichtsfeldes, die Höhe des Berges der Funktionshöhe der Netzhaut an jedem Gesichtsfeldort. Mit anderen Worten kann man die



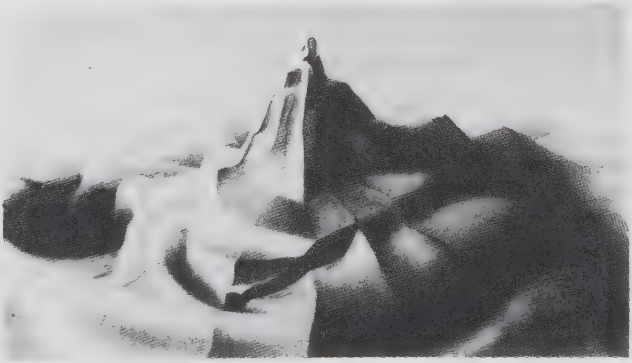


Abb. 1:

Der Gesichtsfeldberg nach SPAHR, BEBIE und FANKHAUSER (1977).

Oben: Schematische Darstellung eines normalen Gesichtsfeldes.
Unten: Zeichnung des Gesichtsfeldberges mit Empfindlichkeitssenken (Skotomen).

Netzhaut als Grundfläche des Berges betrachten und seine Höhe als die Empfindlichkeit des Lichtsinnes an jeder einzelnen Netzhautstelle (AULHORN, 1973).
Messen der Netzhautempfindlichkeit heißt, die Lichtunterschiedsschwelle (LUS) einer Anzahl Punkte im Gesichtsfeld zu bestimmen. Die Lichtunterschiedsschwelle ist definiert als das Verhältnis $\Delta L/L_u$, wobei ΔL gleich dem Überschuß an Leuchtdichte ist, den ein Stimulus gegenüber der Umfeldleuchtdichte haben muß, damit er mit einer Wahrscheinlichkeit p = 50 % erkannt wird (SPAHR, BEBIE und FANKHAUSER, 1977). Die Lichtunterschiedsschwelle ist in der Regel am Fixationspunkt, daß heißt in der Macula, am kleinsten und nimmt zur Peripherie hin zu. Es ist meist anschaulicher, den reziproken Wert der LUS zu verwenden, die Lichtunterschiedsempfindlichkeit (LUE). Die LUE ist eine komplizierte Funktion verschiedener Variablen: Netzhautkoordinaten, Umfeldleuchtdichte, Größe der Testmarke, Farbe des Umfeldes und der Testmarke, Darbietungsdauer des Testreizes, Adaptationszustand des Auges. Sie ist aber auch von den subjektiven Faktoren abhängig, die durch die Individualität und die Verfassung des Patienten gegeben sind: Zuverlässigkeit, Konzentrationsfähigkeit, psychische Einstellung zur Untersuchung, Ermüdung, allgemeiner Gesundheitszustand, etc. (SPAHR, BEBIE und FANKHAUSER, 1977).
Ziel der perimetrischen Untersuchung ist es, Empfindlichkeitssenken (Skotome) im Gesichtsfeldberg, ihre genaue Lokalisation und ihr Ausmaß zu bestimmen.

2. Kinetische Perimetrie nach Goldmann

2.1. Apparative Methodik

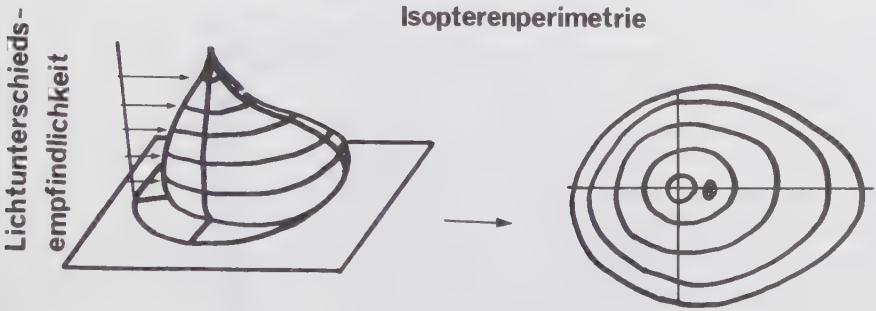


Abb. 2:
Schematische Darstellung der kinetischen oder Isopteren-Perimetrie. Die Testmarke wird in horizontaler Richtung auf den Gesichtsfeldberg zugeführt (nach AULHORN, 1973).

Untersucht man die Empfindlichkeitshöhe der Netzhaut mit der kinetischen Perimetrie, so wird ein Prüfpunkt gegebener Leuchtdichte aus dem Bereich des Nichtsichtbaren auf den Gesichtsfeldberg zubewegt, bis er wahrgenommen wird. Die Empfindlichkeitsschwelle an dieser Stelle wird mit waagerechter Untersuchungsrichtung und bewegter Testmarke gemessen (AULHORN, 1973). Diese Messung in verschiedenen Gesichtsfeldbereichen ergibt dann durch Verbindung der einzelnen wahrgenommenen Punkte die Isopteren. Sie sind Linien gleicher Empfindlichkeit der Netzhaut. Man spricht deshalb von kinetischer oder Isopteren-Perimetrie. Zur kinetischen Perimetrie wurde das Goldmann Perimeter 940

(Hersteller: Haag-Streit AG, Liebefeld/Schweiz) verwendet. Es handelt sich hierbei um ein Halbkugel-Projektionsperimeter mit einer direkten Registrierung der Testmarkenposition. Die Halbkugel mit einem Radius von 30 cm wird von einer Hauptglühlampe (Stärke: 6 V, 4,35 A) ausgeleuchtet und gewährleistet so während der Untersuchung stets den gleichen Adaptationszustand des Patientenauges. Die Testmarke, mit der man die Unterschiedsschwelle des Lichtsinnes an den verschiedenen Stellen im Gesichtsfeld bestimmt, wird durch eine Projektionsvorrichtung in die Halbkugel projiziert. Diese Reizmarke ist durch Blenden in sechs verschiedene Größen (64, 16, 4, 1, 1/4, 1/16 mm^2) und mit Graufiltern in vier (1,0; 0,315; 0,1; 0,0315) oder mehr (mit einem zweiten Graufiltersatz mit Abstufung von 1,0; 0,8; 0,63; 0,5; 0,4) relativen Helligkeits- beziehungsweise Leuchtdichtestufen veränderbar. Die Leuchtdichte der Perimeterhalbkugel wird mit einer Schiebeblende eingestellt. Testmarken- und Umfeldleuchtdichte werden beide von derselben Glühlampe erzeugt.
Für die Untersuchungen in dieser Studie wurde für die Umfeldleuchtdichte der übliche Wert (SCHMIDT, 1960) von 31,5 asb= 10,0 cd/m^2 genommen. In definierten Zeitabständen wurde diese Umfeldleuchtdichte mit dem Belichtungsmesser PROFISIX (Hersteller: Gossen GmbH, Meß- und Regeltechnik, Erlangen) überprüft. Dabei wurde das Meßteil des PROFISIX auf den entsprechenden Empfindlichkeitsbereich eingestellt und der gemessene Zahlenwert der Anzeigeskala abgelesen. Im Sinne einer Objektmessung wurde der abgelesene Zahlenwert x in die Formel

$$(1) \quad f(x) = 0{,}22 \cdot a^x \quad (\text{Faktor } a = 2)$$

zur Ermittlung der Leuchtdichte f eingesetzt. Der gemessene Wert für x war 5,52; in Formel (1) eingesetzt, ergab das die entsprechende Umfeldleuchtdichte von 10,0 cd/m^2: $0{,}22 \cdot 2^{5{,}52} = 10{,}0$. Die Helligkeit der Testmarke von 1000 asb = 318 cd/m^2 wurde mit einem Luxmeter überprüft.

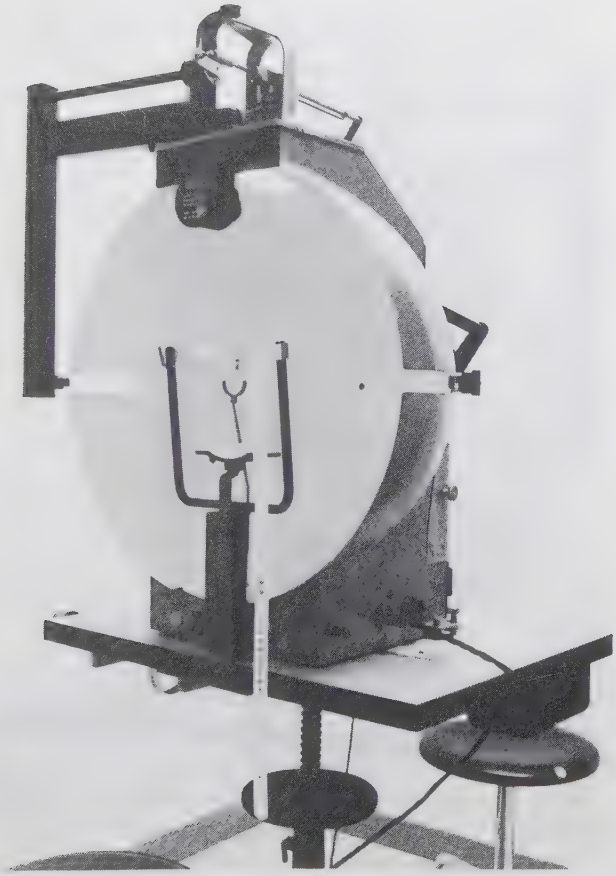


Abb. 3:
Perimeter nach Goldmann. Ansicht der Patientenseite.

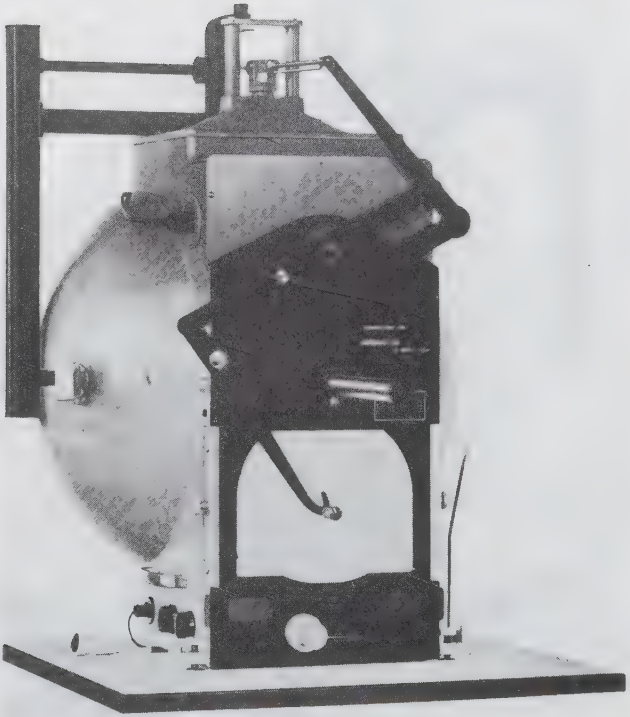


Abb. 4:
Perimeter nach Goldmann. Ansicht der Untersucherseite.

2.2. Klinik der kinetischen Perimetrie

Die kinetische Perimetrie wurde in dieser Studie entsprechend der Gebrauchsanweisung für das Goldmann Perimeter 940 und in Anlehnung an SCHMIDT (1960; 1965; 1969; 1971) ausgeführt. Der Untersuchungsgang wurde wie folgt gehandhabt:

1) Voradaptation des Patienten am beleuchteten Perimeter zwei bis drei Minuten lang.
   In dieser Zeit wurde:
   a) das nicht zu untersuchende Auge abgedeckt;
   b) die Kinn-Stirn-Stütze auf die richtige Höhe eingestellt, damit der Patient bequem fixieren konnte;
   c) dem Patienten der Untersuchungsgang erklärt;
   d) das Gesichtsfeldschema eingespannt;
   e) die Feineinstellung des Patientenauges vorgenommen;
   f) die Pupillenweite durch das Visierrohr gemessen und notiert.
2) Die perimetrische Untersuchung wurde in der Regel mit der Reizmarke der Größe I (1/4 mm^2) und der Intensität 4 (I/4) begonnen. Bei einer Einengung des Gesichtsfeldes wurde mit größeren Marken nachgeprüft.
3) Es wurde versucht, die Reizmarke mit einer konstanten Geschwindigkeit von ca. 5^o/sec. aus der Peripherie zum Zentrum zu führen und ca. alle 30^o bis 45^o die Reizschwelle zu bestimmen. Innerhalb des zentralen Gesichtsfeldes von 30^o Exzentrizität wurde die Reizmarke mit einer Geschwindigkeit von 2^o/sec. bewegt (SCHMIDT, 1971).
4) Im Anschluß an die Marke I/4 wurde mit den Marken I/3 beziehungsweise I/2 und I/1 weitergeprüft, die alle die gleiche Größe haben, aber jeweils nur 1/3 der Helligkeit der vorhergehenden Marke: I/4 volle Helligkeit; I/3: 1/3 der Helligkeit von I/4; I/2: 1/10 von I/4; I/1: 1/30 von I/4 (LEYDHECKER, 1976).
5) Das zentrale Gesichtsfeld bis 30^o Exzentrizität wurde mit der entsprechenden Korrektur der Sehschärfe für 30 cm Entfernung geprüft.

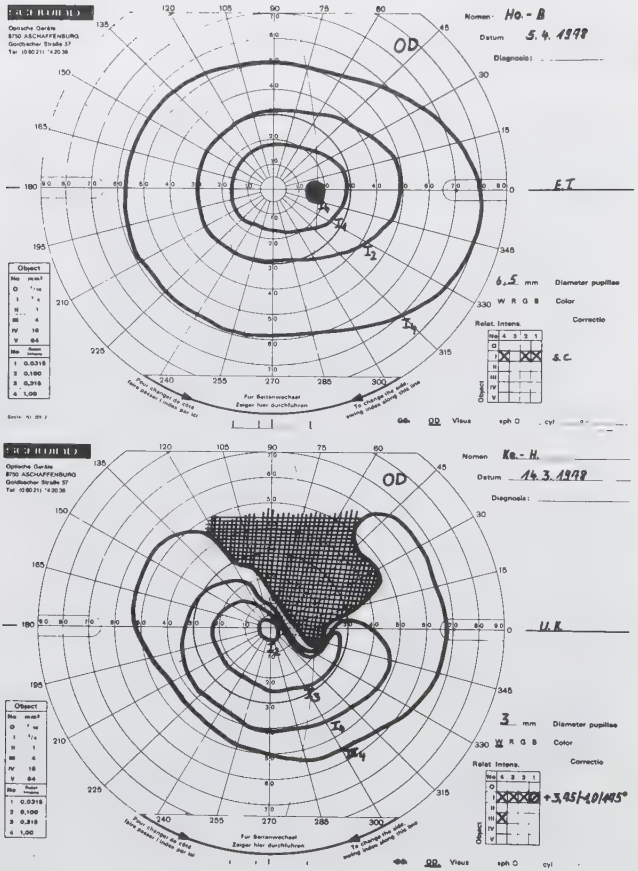


Abb. 5:

Oben: Normales kinetisches Gesichtsfeld vom rechten Auge eines 19-jährigen Mannes.

Unten: Kinetisches Gesichtsfeld vom rechten Auge einer 54-jährigen Patientin mit Sekundärglaukom. Es zeigt sich ein mit dem blinden Fleck in Verbindung stehender großer Ausfall in den beiden oberen Quadranten.

6) Der blinde Fleck wurde mit der Marke I/4 beziehungsweise I/3 untersucht.
7) Skotome wurden zunächst mit der Marke eingegrenzt, in deren Bereich sie lagen und anschließend mit größeren Marken nachgeprüft (zum Beispiel ein Skotom im Bereich I/3 wurde untersucht mit I/3, I/4, III/4 und V/4).
8) Auf parazentrale Skotome wurde mit der sogenannten statisch-dynamischen Technik (LEYDHECKER, 1973) geprüft.

3. Statische, computergesteuerte Perimetrie nach Kraukau und Heijl

3.1. Die Entwicklung der computergesteuerten Perimetrie

In den vergangenen acht bis zehn Jahren wurden - ermöglicht durch den Fortschritt der Computertechnik im letzten Jahrzehnt - verschiedene automatische Perimetriersysteme entwickelt und erprobt. Nach Erarbeitung der informationstheoretischen Basis in Programmen (KOCH, ROULIER, FANKHAUSER, 1972) und nach Untersuchung vom Computer simulierter Patienten (FANKHAUSER, KOCH, ROULIER, 1972; SPAHR, FANKHAUSER, 1974; GAUGER, 1977) fand die automatische Perimetrie auch ihre klinische Anwendung am Patienten (SPAHR, 1973). Von WEBER und SPAHR (1976) wurden mehrere Darstellungsmethoden für Perimetrie-Ergebnisse vorgeschlagen, die es dem Arzt ermöglichen sollten, in kurzer Zeit das Computer-Gesichtsfeld zu interpretieren. Für die verschiedenen automatischen Perimetriersysteme wurden Untersuchungsprogramme entwickelt (BEBIE, FANKHAUSER, SPAHR, 1976; HEIJL, KRAKAU, 1975; HEIJL, 1977), bei denen auch bereits Aussagen über Streuungen der Ergebnisse gemacht werden konnten (BEBIE, FANKHAUSER, SPAHR, 1976). Das in der Schweiz von FANKHAUSER et al. in Zusammenarbeit mit der Firma INTERZEAG AG entwickelte vollautomatische Perimeter OCTOPUS wird heute in Serie produziert und in verschiedenen Kliniken in Wissenschaft und Routine angewendet (FANKHAUSER, SPAHR, BEBIE, 1977; SPAHR, FANKHAUSER, JENNI, BEBIE, 1978).
Auf der Basis des statischen Tübinger Perimeters wurde der Prototyp eines automatischen Untersuchungsgerätes entwickelt (AULHORN, 1975; AULHORN, GAUGER, HAGMEYER, 1975) und klinisch überprüft (AULHORN, DURST, 1977; AULHORN, 1978). Weitere automatische Perimetriersysteme wurden in Holland (GREVE, GROOTHUYSE, VERDUIN, 1976; GREVE, GROOTHUYSE, BAKKER, 1977), Italien (ZINGIRIAN, TAGLIASCO, 1977; GRIGNOLO, ZINGIRIAN, FRUGONE, GIANOTTI, TAGLIASCO, 1977), Frankreich (HACHE, DUBOIS, LEFLON, 1976) und den USA (nach PORTNEY und KROHN, 1978) entwickelt und werden zur Zeit weltweit getestet.

3.2. Apparative Methodik

Bei der statischen oder Profil-Perimetrie wird die Leuchtdichte des Prüfpunktes an einer bestimmten Netzhautstelle solange in Stufen gesteigert, bis dieser wahrgenommen wird. Die Untersuchungsrichtung verläuft also senkrecht zum Gesichtsfeldberg, der Prüfpunkt wird nicht bewegt (AULHORN, 1973).

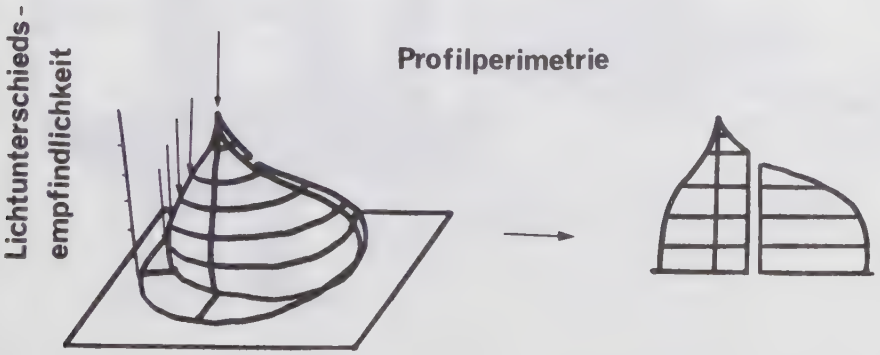


Abb. 6:
Schematische Darstellung der statischen oder Profil-Perimetrie. Die Untersuchungsrichtung verläuft senkrecht zum Gesichtsfeldberg (nach AULHORN, 1973).

Weil das zentrale Gesichtsfeld in den allermeisten Fällen ausreicht, um eine vorläufige Gesichtsfelddiagnose zu stellen (BLUM, GATES, JAMES, 1959), entwickelten KRAKAU und HEIJL in Schweden das in dieser Studie verwendete automatische, statische Perimeter "COMPETER" (HEIJL, KRAKAU, 1975; HEIJL, 1976; 1977). Das automatische Perimetriersystem nach KRAKAU und HEIJL (1975) besteht aus dem Perimeterteil mit Steuergerät, dem Mikro-

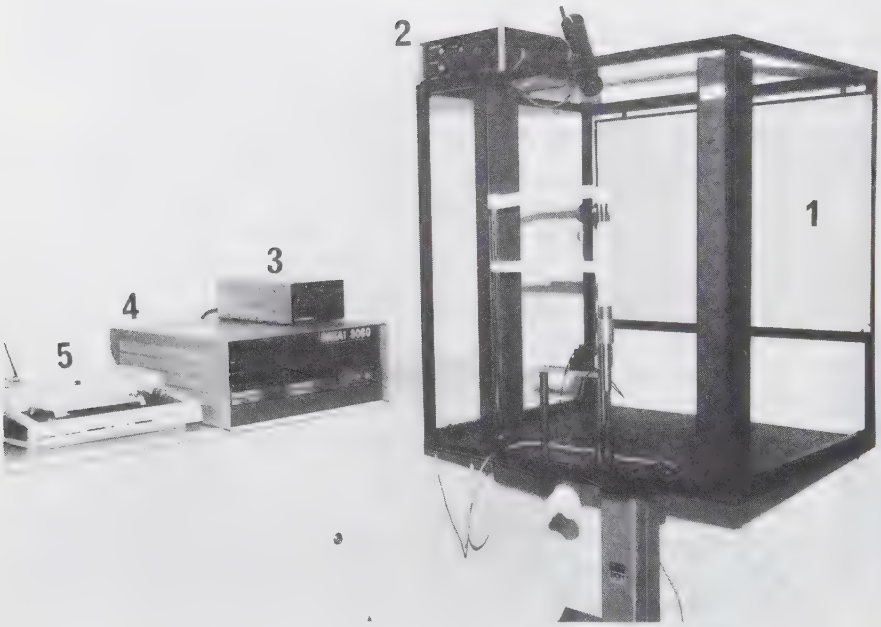


Abb. 7:
Computerperimeter nach KRAKAU und HEIJL:
(1) Perimeterteil, (2) Perimetersteuergerät, (3) Programmeinlesegerät, (4) Mikrocomputer, (5) Drucker.

computer mit Programmeinlesegerät und dem Drucker (siehe Abb. 7). Die Verknüpfung der Geräte untereinander ist aus dem Blockdiagramm (Abb. 8) ersichtlich.
Der Patient schaut, aufgestützt auf die Kinn-Stirn-Stütze, aus 55 cm Entfernung auf eine plane schwarze PVC-Tafel mit den Maßen 50 x 70 cm (eigene Messungen). Diese Tafel (Untersuchungsschirm) ist bei Untersuchung des linken Auges nach links verschiebbar und analog rechts. In der PVC-Tafel befinden sich innerhalb

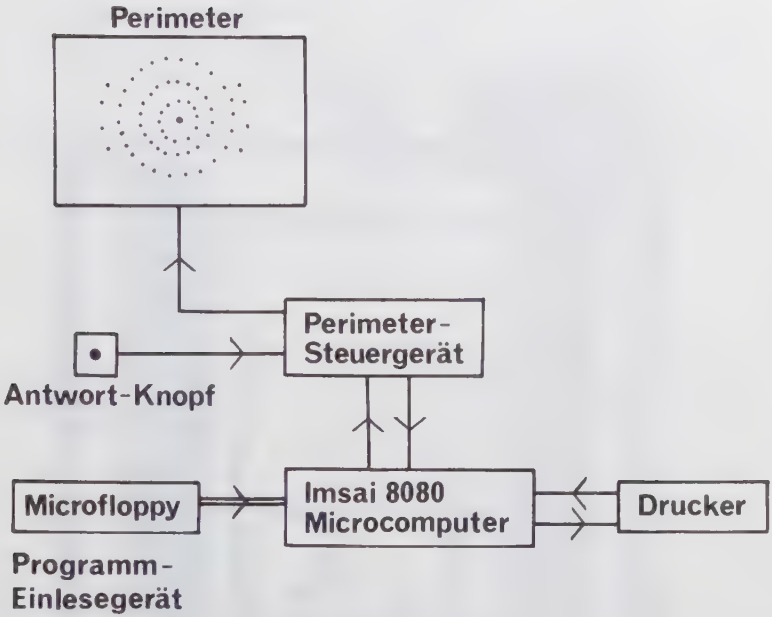


Abb. 8:
Blockdiagramm des automatischen Perimetriersystems nach KRAKAU und HEIJL.

eines Rechtecks der Maße 42 x 52 cm (eigene Messung) 64 Bohrungen in zirkulärer Anordnung, die in unterschiedlichem Neigunswinkel zum Betrachterauge stehen, das die Mitte des Untersuchungsschirmes fixiert. Eingelassen in die 64 Bohrungen sind 64 lichtemittierende Dioden. Die 64 Dioden strahlen gelbes Licht aus; ihre Anordnung ist aus der Abbildung 11 ersichtlich. Die Fixationsdiode in der Mitte strahlt rotes Licht aus. Jede lichtemittierende Diode sitzt 2 mm tief versenkt in der PVC-Wand. Vor dieser spannt sich ein semitransparenter, pergamentfarbiger Polyesterbogen, der mittels einer Vakuumpumpe bei Betrieb des Perimeters fest an die plane

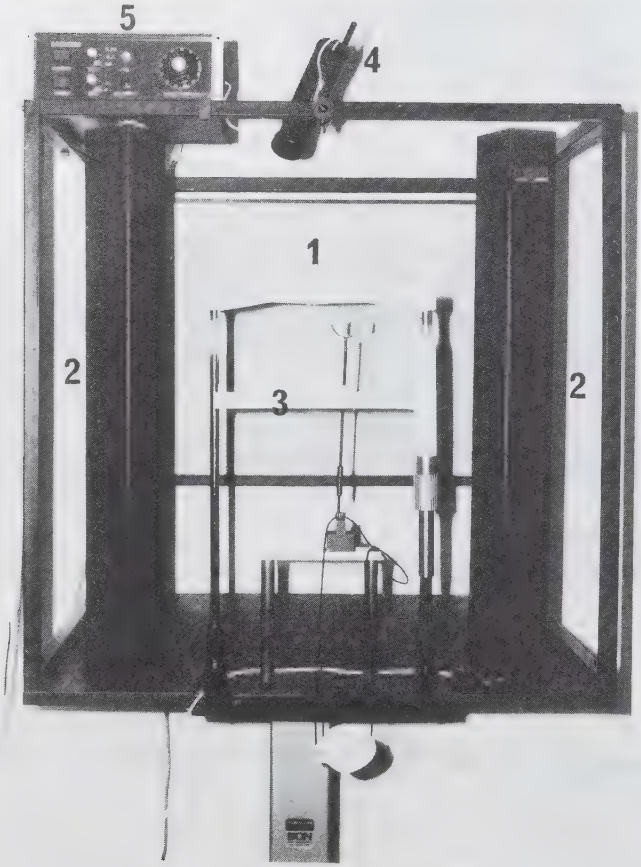


Abb. 9:

Perimeterteil mit dem Untersuchungsschirm (1), den beiden Wannen mit Niedervoltlampen für die Umfeldleuchtdichte (2), der Kinn-Stirn-Stütze (3), dem Lichtprojektor für den blinden Fleck (4) und dem Perimetersteuergerät (5).

Fläche des Untersuchungsschirmes gesaugt wird.
Die lichtemittierenden Dioden werden durch einen laufenden Impulsstrom mit Energie versorgt. Nach dem Talbotschen Plateau-Gesetz wird flimmerndes Licht einer hohen Frequenz vom Betrachterauge als konstant scheinend empfunden und seine Intensität gleich der mittleren des flimmernden Lichtes gesetzt. Das Mittel über eine Periode T wird definiert nach:

$$L_m = \frac{1}{T} \cdot \int_o^T L \, dt \quad \text{(HEIJL,KRAKAU, 1975).}$$

Die Anfangsfrequenz f_o beträgt $35 \cdot 10^4$ Impulse pro Sekunde und die Frequenz auf der Intensitätsstufe n entsprechend

$$f_n = f_o \cdot 2^{-(n-1)}.$$

Es werden 16 unterschiedliche Intensitätsstufen angeboten, wobei das Verhältnis zwischen zwei aufeinanderfolgenden jeweils 1 : 2 beträgt.
Die Intensität der lichtemittierenden Dioden ist auf der Stufe 0 am höchsten, auf Stufe 15 am geringsten. Bei photopischer Untersuchung werden Intensitäten oberhalb der Stufe 9 nur selten wahrgenommen. Die testlichtemittierenden Dioden werden durch ein einfaches Photometer kontrolliert, indem das Licht während der Untersuchung mit einer variablen Lichtquelle verglichen wird.
Die Leuchtdichte des Untersuchungsschirmes ist veränderlich am Perimetersteuergerät einstellbar auf Werte zwischen 0 und 110. Dabei entspricht die Stellung 85 einer Leuchtdichte von 1 cd/m^2. Diese unterschiedlichen Umfeldleuchtdichten werden durch acht Niedervoltlampen erzeugt, die in die beiden Wannen links und rechts am Perimeter eingelassen sind (siehe Abb. 9).
Bei den Untersuchungen dieser Studie wurde die von HEIJL und KRAKAU (1975) empfohlene Leuchtdichte von 1 cd/m^2 verwendet. In definierten Zeitabständen wurde diese Umfeldleuchtdichte mit dem

Belichtungsmesser PROFISIX überprüft. Der gemessene Wert für x betrug 2,2. In Formel (1) eingesetzt, ergibt das die entsprechende Umfeldleuchtdichte von 1 cd/m^2: 0,22 · $2^{2,2}$ = 1,0.
Der Mikrocomputer IMSAI 8080 hat einen Processor mit direkt zugängiger Speicherkapazität von 65536 Wörtern. Die Wortlänge ist 1 byte (8 bits). Verbunden mit dem Mikrocomputer ist das Programmeinlesegerät (microfloppy) und der Schnelldrucker, ein Silent 700 electronic data terminal (Modell 743 KSR) von Texas Instruments. Die verwendete Computersprache ist "Extended Basic", ihr gemäß erhält der Computer seine Information und druckt über den Silent 700 die Ergebnisse auf wärmeempfindliches Papier aus.

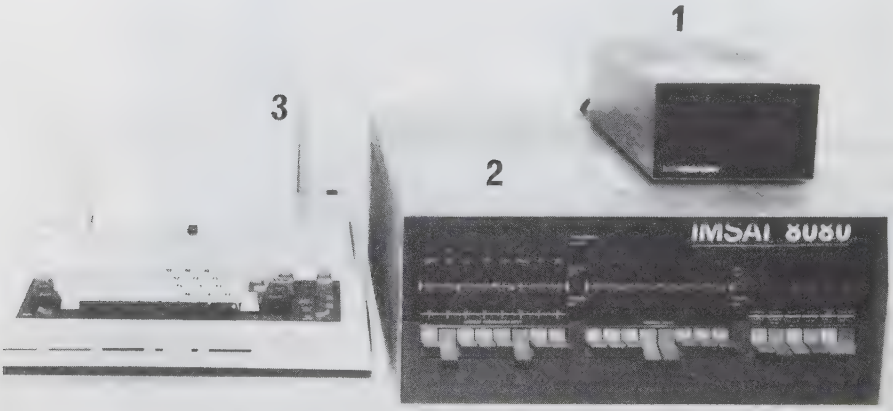


Abb. 10:
Programmeinlesegerät (1), Mikrocomputer (2) und Drucker (3) des Computerperimeter nach KRAKAU und HEIJL.

3.3. Klinik der computergesteuerten Perimetrie

Auf der Basis der statischen Perimetrie beruhen die Untersuchungsprogramme ("Software") des KRAKAU/HEIJL-Computers, die auf einer sogenannten Diskette gespeichert sind. Die Software wird über das Programmeinlesegerät (microfloppy) in den Speicher des Computers eingegeben und ist jederzeit veränderbar. Im Gegensatz dazu unveränderbar ist die sogenannte "Hardware":Microcomputer, Microfloppy und Perimeterteil. Die Anordnung der 64 Testpunkte auf dem Perimeterschirm ist aus der Abbildung 11 ersichtlich.

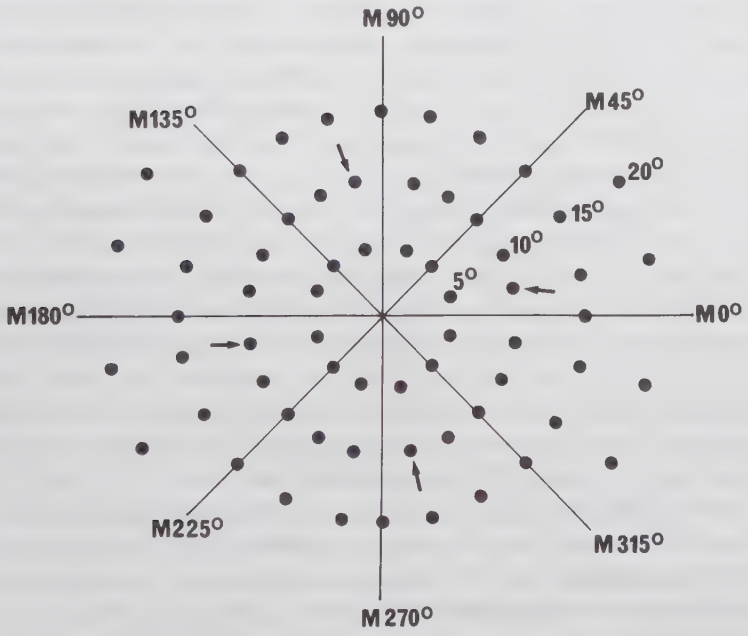


Abb. 11:
Die Verteilung der 64 Testpunkte auf dem Untersuchungsschirm des Computer-Perimeters nach KRAKAU und HEIJL. Die vier mit Pfeilen markierten Testpunkte bezeichnen die Anfangsprüfpunkte, an denen das Untersuchungsprogramm begonnen wird.

Auf dem 5^{o}-Kreis befinden sich 12 Testpunkte, auf dem 10^{o}-Kreis 20, auf dem 15^{o}-Kreis 24 und auf dem 20^{o}-Kreis 8 Testpunkte. Kernstück der perimetrischen Untersuchung ist die Bestimmung der Empfindlichkeitsschwelle der Netzhaut an einem bestimmten Ort. Diese Schwellenbestimmung erfolgt nach einer sogenannten "staircase up and down"-Methode (HEIJL, 1977; HEIJL, KRAKAU, 1975), das heißt einem stufenweisen Eintesten der Reizschwelle durch ein Eingabelungsverfahren (siehe Abbildung 12). In einem bestimmten Intensitätsbereich liegt die Wahrscheinlichkeit "p" zwischen "0" und "1", ob ein Testpunkt wahrgenommen wird oder nicht. Ist die Intensität des Lichtreizes höher als der Schwellenbereich, dann wird sie immer wahrgenommen, liegt sie darunter, so wird sie nie wahrgenommen. Zur Feststellung der Empfindlichkeitsschwelle wird mit einer bestimmten Intensität im sicher wahrnehmbaren Bereich begonnen. Beantwortet der Patient durch Knopfdruck (siehe Abbildung 8, "Antwortknopf") diesen Reiz "i" mit ja, also als gesehen, so wird beim nächsten Mal, wenn derselbe Punkt erneut getestet wird, um eine Stufe schwächer geprüft, also mit der Intensität "i + 1", da 0 die stärkste und 15 die schwächste Intensitätsstufe ist. Gibt der Patient auf einen Testreiz keine Antwort, also "nicht gesehen", so wird beim nächsten Reiz an derselben Stelle die Intensität um eine Stufe erhöht ("i - 1"). Erreicht die Intensität der Prüfpunkte den Schwellenbereich ($0 < p > 1$), dann wird aus vier Testreizen die Schwelle als mittlere Intensitätsstufe gebildet. Falsches Nichtbeantworten eines Reizes im sicher wahrnehmbaren Bereich wird vom Computer nicht berücksichtigt hinsichtlich der Berechnung des Mittelwertes der Schwelle (siehe Abbildung 12).
Zwei Untersuchungsprogramme standen zur Verfügung, die beide die Schwelle an den vier Anfangstestpunkten nach der sogenannten Eingabelungs- beziehungsweise "staircase up and down"-Methode bestimmen: das SCREENING (SCR) - Programm und das THRESHOLD (THR) - Programm (HEIJL, 1976; 1977).
Beim SCREENING-Programm beträgt die mittlere Untersuchungszeit ca. zwei bis drei Minuten. Ausgehend von den Schwellenwerten der vier Anfangstestpunkte errechnet der Computer ein Intensitätsniveau T, das als Anfangstestniveau für die weiteren Untersuchungspunkte bestimmend ist. Die Intensitätsschwellen der vier

Anfangspunkte (siehe Abbildung 11) werden der Größe nach geordnet und mit T_1 bis T_4 bezeichnet, wobei $T_1 \leq T_2 \leq T_3 \leq T_4$. Wenn $T_4 - T_3 \leq 2$ Stufen Unterschied beträgt, so wird das Intensitätsniveau T errechnet nach:

$$T = \frac{T_4 * T_3}{2} .$$

Ist der Unterschied zwischen T_4 und T_3 mehr als 2 Stufen, so wird $T = T_4$ gesetzt. Diese Rechenstrategie wird deshalb so gewählt, damit Skotome an drei oder weniger Anfangstestpunkten die Berechnung des Intensitätsniveaus T für die weitere Untersuchung nicht beeinflussen.

Falls die Empfindlichkeit der Netzhaut an den vier Anfangstestpunkten entsprechend der Antworten des Patienten vom Computer als zu niedrig befunden wird, unterbricht dieser das weitere Untersuchungsprogramm und druckt über den Silent 700 - Schnelldrucker aus: "contrast sensitivity too low".

Da bei Prüfung mit der Schwellenintensität T die Wahrscheinlichkeit der Reizwahrnehmung an den weiteren Testpunkten stets 1/2 wäre, wird vom Computer nun überschwellig geprüft. Bei den Testpunkten auf dem 5°-Kreis um 2 Stufen höher (T - 2), bei den verbleibenden auf dem 10°-Kreis um 2 1/2 Stufen höher (T - 2,5) auf dem 15°- und 20°-Kreis um 3 Stufen höher (T - 3), entsprechend dem Empfindlichkeitsgefälle der menschlichen Retina zur Peripherie hin.

Wenn der Patient den Testreiz an einem bestimmten Punkt durch Drücken des Antwortknopfes bejaht, dann wird dieser Testpunkt nicht erneut geprüft. Wird der gegebene Reiz nicht beantwortet, so wird beim nächsten Mal um eine Stufe höher geprüft. Wird der Testreiz jetzt wahrgenommen, so wird seine Intensität als Schwelle an diesem Testpunkt angenommen. Wird er aber wieder nicht beantwortet, so prüft der Computer mit der maximalen Testintensität (Stufe 0) weiter. Beantwortet der Patient auch den stärksten Lichtreiz nicht, so wird vom Computer an dieser Stelle ein absolutes Skotom angenommen und nicht erneut getestet.

Beantwortet der Patient dagegen die stärkste Intensitätsstufe, dann wird an diesem Punkt ein relatives Skotom angenommen (oder der Patient hatte zwei Fehler in der Reizbeantwortung gemacht). Der Computer testet diesen Punkt erneut mit der Anfangsinten-

sität und nähert sich dann Stufe um Stufe der Schwelle, bis er vom Patienten keine Antwort mehr erhält. Der zuletzt als gesehen beantwortete Testreiz wird als Schwellenintensität angenommen. Dieses Untersuchungsprogramm wird als "SCR-Strategie" bezeichnet.

In der vorliegenden Studie wurde nur das THRESHOLD-Programm verwendet, die sogenannte "1 oder 3 Vorzeichenwechsel-Strategie". Zu Beginn der Untersuchung wird die Schwelle an den vier Anfangstestpunkten bestimmt. Entsprechend der "staircase up and down"-Methode ändert sich jeweils die Testreizintensität, je nachdem ob der Patient den Reiz beantwortet oder nicht. Eine Änderung in der Antwortgebung des Patienten kann man als "Vorzeichenwechsel" betrachten, wobei beantwortete Reize mit (+) und nicht beantwortete mit (-) bezeichnet werden. Die Schwelle an den vier Anfangstestpunkten wird vom Computer ermittelt, nachdem der Patient an jedem der vier Punkte dreimal das Vorzeichen seiner Antwort geändert hat. Der nach dreimaligem Vorzeichenwechsel zuletzt als gesehen beantwortete (+) Reiz, wird als Schwellenintensität an diesem Punkt angenommen.
Die Schwellenwerte der vier Anfangstestpunkte dienen als Ausgangstestintensitäten für die ihnen benachbarten Punkte. An jedem benachbarten Punkt testet sich der Computer stufenweise an die Schwelle heran, bis der Patient nicht mehr mit ja antwortet, also einen Vorzeichenwechsel seiner Antwort vornimmt. Der zuletzt als gesehen, mit (+) beantwortete Reiz (i_n) am Punkt (n) wird vom Computer mit der gemessenen Schwelle (i_m) des benachbarten, vorhergehenden Testpunktes (m) verglichen. Wenn die Differenz der Intensitätsstufen zwischen den beiden Punkten weniger als zwei beträgt $/i_n - i_m/ < 2$), dann wird (i_n) als Schwellenintensität für den Testpunkt (n) angenommen. Ist aber die Differenz $/i_n - i_m \geqslant 2$, so prüft der Computer diesen Punkt erneut, bis der Patient noch zweimal einen Antwortwechsel vornimmt (insgesamt also dreimal das "Vorzeichen" der Antworten geändert hat). Der dann zuletzt mit ja beantwortete Testreiz wird als Schwellenintensität an diesem Punkt angenommen und davon ausgehend der daneben liegende Prüfpunkt getestet. Entsprechend wird an den anderen Testpunkten verfahren, bis alle

Schwellenintensitäten nach der "1 oder 3 Vorzeichenwechsel-Strategie" bestimmt sind. Die Untersuchungszeit bei diesem Programm, das an den einzelnen Testpunkten des zentralen Gesichtsfeldes genauer die Schwellen ermittelt, dauert im Mittel acht bis neun Minuten.

Der Vorteil der computergesteuerten Perimetrie liegt darin, daß die Prüfpunkte in zufälliger Anordnung angeboten werden. Der Patient weiß nicht, welcher Punkt als nächster getestet wird und wird dadurch indirekt zur geeigneten Fixation veranlaßt.
Vor dem Untersuchungsbeginn wurde am Perimetersteuergerät die Aufleuchtzeit der Prüfpunkte gewählt, wobei 0,25, 0,5 und 1,0 Sekunden möglich waren. Ebenso wurde der zeitliche Abstand zwischen den einzelnen Testpunkten vorgewählt, der mit 1, 2 und 4 Sekunden variabel war. Bei den Untersuchungen in dieser Studie wurden 0,5 Sekunden Darbietungszeit und 2,0 Sekunden Intervall gewählt.
Nach Einstellung des Perimeterschirms auf die für das zu untersuchende Auge richtige Höhe, wurde dem Patienten die Kinn-Stirn-Stütze in eine bequeme Position gebracht. Es wurde ihm bedeutet, den roten Punkt im Zentrum des Schirms zu fixieren. Danach wurde die Lage des blinden Fleckes geprüft, indem der dafür vorgesehene, beweglich angebrachte Projektor (siehe Abbildung 9) oberhalb des Patientenkopfes, aus dem Sichtbaren bis in den Bereich des blinden Fleckes bewegt wurde. Bei korrekter Fixation konnte der Lichtreiz in diesem Bereich nicht mehr gesehen werden. Der Untersucher nahm diese "Blinde-Fleck-Einstellung" mehrmals vor, bis er sich von der richtigen Stellung des Lichtprojektors überzeugt hatte. In zufälliger Weise in das Untersuchungsprogramm eingestreut, leuchtete der Projektor auf und prüfte so indirekt die Fixation des Patienten.
Nach Einstellung des blinden Fleckes wurde dem Patienten der weitere Untersuchungsgang erklärt. Hierzu lief ein Demonstrationsprogramm an den vier Anfangstestpunkten. Hatte sich der Untersucher überzeugt, daß der Patient den Untersuchungsgang begriffen hatte, so löschte er durch Knopfdruck am Perimetersteuergerät das Demonstrationsprogramm, und die eigentliche Gesichtsfelduntersuchung begann. Während der Zeit der Vorbereitung von wenigen Minuten hatte sich der Patient auch an die ent-

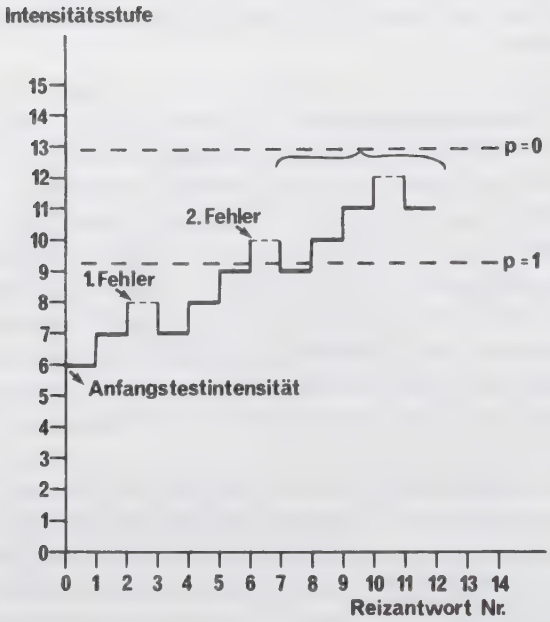


Abb. 12:

Darstellung der Schwellenbestimmung an einem Testpunkt mit dem Eingabelungsverfahren, der sogenannten "staircase up and down"-Methode (nach HEIJL, 1977).
Die Intensität des nächsten Testreizes wird erniedrigt bei Beantwortung des Reizes (dicke horizontale Striche) und erhöht bei Nichtbeantwortung (unterbrochene horizontale Striche).
"p" bezeichnet die Wahrscheinlichkeit der Reizwahrnehmung. Die Schwelle wird bestimmt aus vier Reizen im Schwellenbereich ($0 < p > 1$) - siehe die Klammer -, wobei vorausgehende "Fehler" (Erster und Zweiter Fehler) nicht in Betracht gezogen werden.

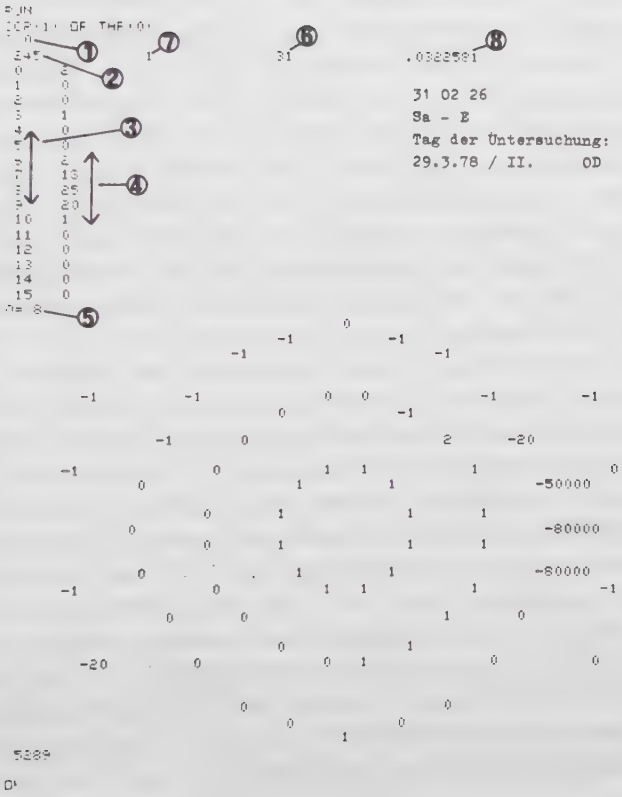


Abb. 13:

Normales Computer-Gesichtsfeld vom rechten Auge eines 47-jährigen Patienten. Der blinde Fleck ist auf dem 15°-Kreis mit den Werten -80000 und -50000 bezeichnet.
Zur Erklärung der umrandeten Ziffern siehe Text.

sprechende Umfeldhelligkeit adaptiert. Nachdem der Computer mit dem THRESHOLD-Programm die Reizschwelle an allen 64 Testpunkten geprüft hatte, druckte er das Ergebnis über den Silent 700 - Schnelldrucker aus.
Aus dem Befund (siehe Abbildung 13) ist das gewählte Programm (1) ersichtlich, die Häufigkeit der an den 64 Testpunkten dargebotenen Stimuli (2), die Anzahl der im Bereich des blinden Flecks angebotenen Lichtreize mittels des Lichtprojektors (6) sowie die absolute (7) und relative (8) Fixationsabweichung. Die linke Zahlenreihe (3) stellt die 16 Intensitätsstufen dar (0 - 15), die rechte Zahlenreihe (4) die Häufigkeitsverteilung der gemessenen Intensitätsschwellen. Die Summe der rechten Zahlenkolonne ergibt 64, entsprechend den 64 Testpunkten. Der "Q"-Wert am Ende der linken Zahlenreihe (5) drückt die am häufigsten wahrgenommene Intensitätsstufen aus. Er ist wichtig für die Interpretation des Gesichtsfeldes, das heißt ob ein absolutes oder relatives Skotom vorliegt oder ob der Befund normal ist. Alle dem "Q"-Wert entsprechenden Intensitätsstufen an den einzelnen Prüfpunkten werden mit "0" ausgedruckt, höhere Intensitäten mit negativen Zahlen und niedrigere Intensitäten mit positiven Zahlen. Dabei rechnet der Computer vom "Q"-Wert aus in Richtung höchster Intensität (also 0) und in Richtung schwächster Intensität (also 15). Auf der Abbildung 13 ist der "Q"-Wert gleich 8. Die mit -80000 bezeichneten Punkte im Bereich des blinden Fleckes stellen ein absolutes Skotom dar. Die negativen Zahlen werden mit entsprechend vielen Nullen versehen, um dem Betrachter Skotome im Gesichtsfeld des untersuchten Patienten optisch hervorzuheben.

4. Vergleichende Perimetrie mit beiden Methoden

In der vorliegenden Studie wurden 178 Augen von 107 Patienten zweimal mit der kinetischen Perimetrie nach Goldmann und zweimal mit der computergesteuerten Perimetrie nach Krakau/Heijl untersucht. Alle Augen zeigten bei Vorbefunden am Goldmann- oder Tübinger-Perimeter beziehungsweise am Gesichtsfeldanalysator nach Friedmann Auffälligkeiten im zentralen Gesichtsfeldbereich.

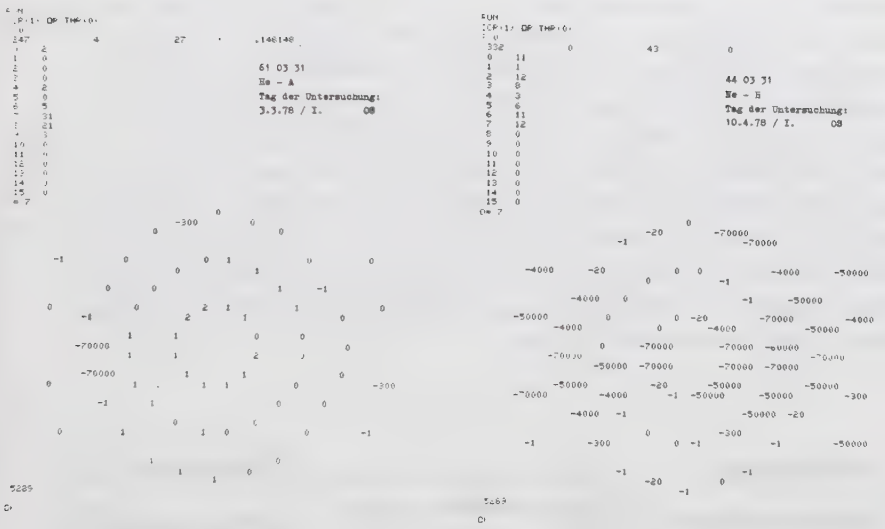


Abb. 14:

Links: Normales Computer-Gesichtsfeld vom linken Auge einer 16-jährigen Patientin. Die mit -300 bezeichneten Werte sind noch im Rahmen der statistischen Schwankungsbreite liegende Streuwerte.

Rechts: Pathologisches Computer-Gesichtsfeld vom linken Auge einer 33-jährigen Patientin mit Retrobulbärneuritis. Es zeigt sich ein großer Ausfall, der sich quer durch das zentrale Gesichtsfeld zieht.

Den vergleichenden Untersuchungen des Gesichtsfeldes ging eine vollständige augenärztliche Untersuchung einschließlich Spaltlampenbiomikroskopie und Funduskopie voraus. Bei allen Patienten war eine Diagnosestellung der Gesichtsfeldbefunde möglich. Augen mit einer Sehschärfe von weniger als 0,4 wurden für die Studie nicht berücksichtigt.

Vor der Untersuchung am Goldmann-Perimeter und am Krakau/Heijl-

Perimeter wurde jeweils die genaue Nahkorrektur für 30 cm (Goldmann) und für 55 cm (Computer) Entfernung bestimmt. Die Befunderhebung am Goldmann-Perimeter erfolgte durch in dieser Methode erfahrene Untersucher. Jedes Auge wurde zunächst am Goldmann-Perimeter untersucht und im Anschluß daran mit einstündigen Ruhepausen in zufälliger Reihenfolge mit dem Computer-Perimeter oder dem Goldmann-Perimeter nachuntersucht (siehe Abbildung 15). Dem Zweituntersucher bei der kinetischen Perimetrie waren die vorausgegangenen Befunde mit beiden Methoden nicht bekannt. Somit wurden unter Einhaltung der genannten Ruhepausen pro Auge innerhalb eines Tages vier Gesichtsfelduntersuchungen vorgenommen. Größere Pausen legte man bei den Patienten ein, denen beide Augen untersucht wurden.

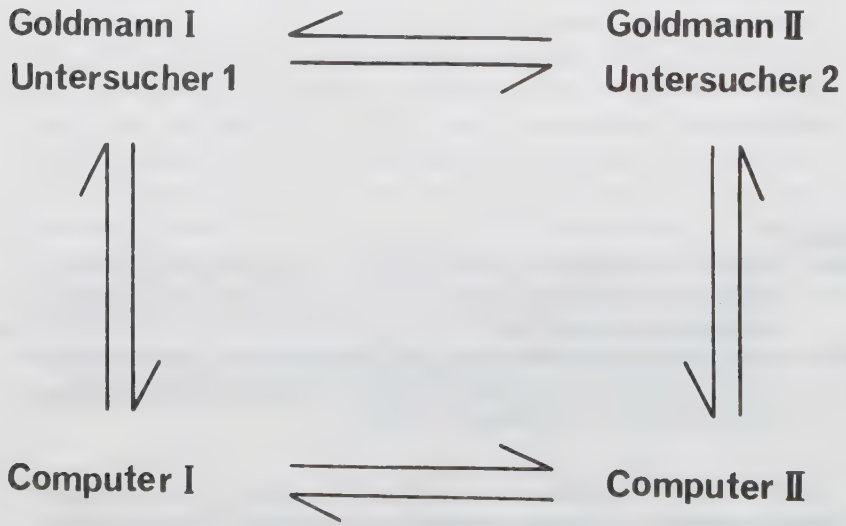


Abb. 15:

Schematische Darstellung der wiederholten Gesichtsfelduntersuchung mit beiden perimetrischen Methoden.

5. Auswertung der Ergebnisse

Von den insgesamt 178 untersuchten Augen bei 107 Patienten, deren zentrale Gesichtsfelder entsprechend der Vorbefunde Auffälligkeiten zeigten, wurden 15 Augen bei 12 Patienten zur Auswertung nicht herangezogen, da sie bei der Computerperimetrie eine unzureichende Fixation zeigten. Die Schwelle einer unzureichenden Fixation wurde bei einer Fixationsabweichung von 30 % bei Prüfung des blinden Flecks definiert. Es verblieben somit zur statistischen Auswertung 163 Vierfachbefunde bei 101 Patienten, deren Altersverteilung die Abbildung 16 darstellt.

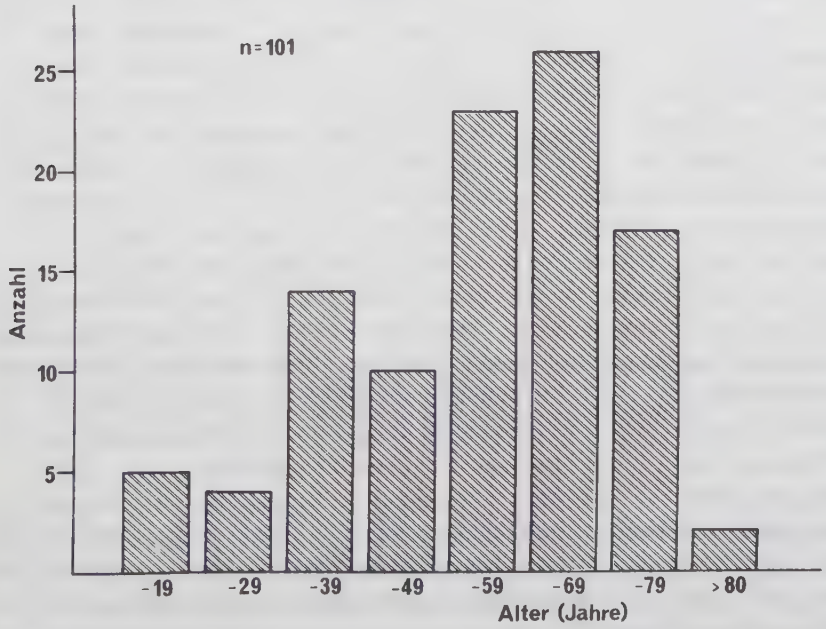


Abb. 16:
Altersverteilung der 101 untersuchten Patienten.

Um einen Vergleich der beiden kinetischen Gesichtsfeldbefunde sowie der beiden Computer-Gesichtsfeldbefunde zu ermöglichen, mußten Kriterien festgelegt werden, die definierten, wann die Befunde als pathologisch zu betrachten waren. Als pathologisches kinetisches Gesichtsfeld nach Goldmann innerhalb 30^{o} - Exzentrizität wurde definiert: 1) Eine sektorielle Einschränkung einer Isoptere in mindestens einem Quadranten um 5^{o} oder mehr beziehungsweise in 1/2 Quadranten um 10^{o} oder mehr (zum Beispiel: die Aussparung des blinden Fleckes, das sogenannte "baring of the blind spot"). Um Vergleichskriterien zwischen den Einzelbefunden zu haben, wurden diese Definitionen für ein pathologisches zentrales Gesichtsfeld gewählt, obwohl man bei DRANCE (1969, 1972) und bei AULHORN (1969, 1971, 1973) unterschiedliche Ansichten hinsichtlich Isoptereneinschränkung und Aussparung des blinden Flecks findet. Neue, empfindlichere Untersuchungsmethoden haben gezeigt, daß sich in unmittelbarer Nähe des blinden Flecks oft ein Skotom befindet, das nicht mit ihm in Verbindung steht (AULHORN, 1976). Dieses - oft relative - Skotom erscheint dann auf dem kinetischen Gesichtsfeldbefund häufig als Aussparung der Isoptere um den blinden Fleck. 2) Eine Vergrößerung des blinden Fleckes. Als Normbereich für den blinden Fleck wurde gewertet: Eine horizontale Ausdehnung zwischen 10^{o} - 20^{o} Exzentrizität und eine Ausdehnung beim rechten Auge innerhalb des 330^{o} - 30^{o} Meridians beziehungsweise beim linken Auge innerhalb des 150^{o} - 210^{o} Meridians in vertikaler Richtung (siehe Abbildung 17). 3) Ein Skotom innerhalb einer Isoptere mit der Lichtmarke gleicher Leuchtdichte und gleicher Größe (zum Beispiel innerhalb der Marke I/2 ein Skotom mit I/2). Ein Beispiel für ein pathologisches zentrales kinetisches Gesichtsfeld zeigt die Abbildung 18. Bei den Computer-Gesichtsfeldbefunden wurde als pathologisch angenommen: 1) Ausfälle von drei oder mehr benachbarten Prüfpunkten, die um vier oder mehr Leuchtdichtestufen vom "Q"-Wert differierten (siehe Abbildung 19). 2) Ausfälle in der Gegend des blinden Flecks, die über vier benachbarte Testpunkte hinausgingen (BENGTSSON und KRAKAU, 1978).

Um quantitative Unterschiede zwischen den wiederholten Gesichtsfelduntersuchungen ermitteln zu können, wurden zunächst die 326 kinetischen Gesichtsfeldbefunde miteinander verglichen. Es

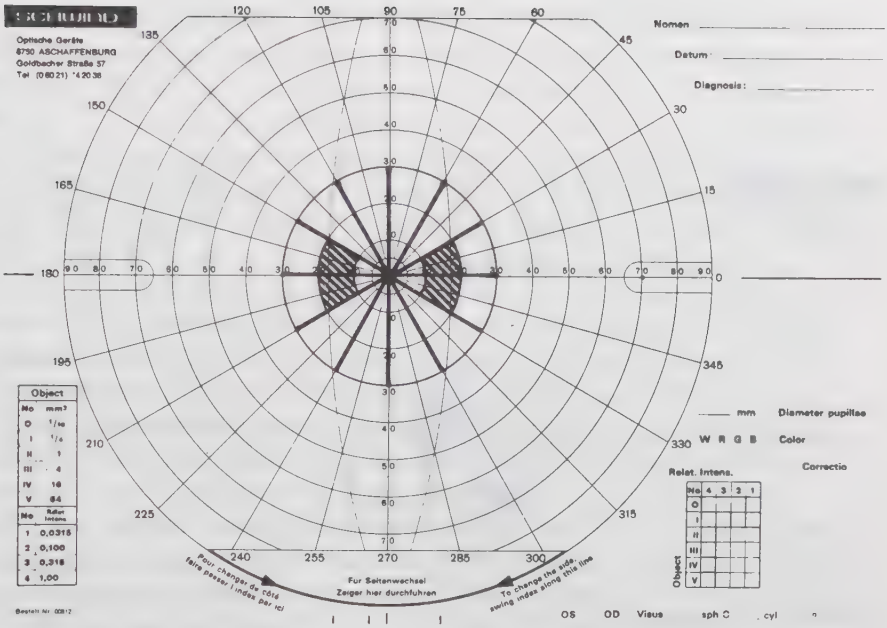


Abb. 17:
Darstellung der 12 Meridiane des Gesichtsfeldschemas, an denen die Abweichungen der einzelnen Isopteren zweier Untersuchungen gemessen wurden. Die schraffierten Flächen zeigen den Bereich der normalen Lage des blinden Flecks.

wurden die Abweichungen der einzelnen Isopteren in Grad gemessen und zwar an jeweils 12 Meridianen des Gesichtsfeldes (siehe Abbildung 17), beginnend am 0^{o}- Meridian bis zum 330^{o}- Meridian. Aus den Einzelabweichungen wurden die mittleren Abweichungen und ihre Standardabweichungen der Isopteren I/1, I/2 und I/3 errechnet, die vollständig oder bis zu 50 % ihres Umfanges inner-

halb des zentralen Gesichtsfeldes bis 30° Exzentrizität lagen. Ebenso wurden die mittleren Abweichungen und ihre Standardabweichungen der Isopteren I/4, III/4 und V/4 errechnet, die zu 50 % und mehr ihres Umfanges außerhalb 30° Exzentrizität lagen.

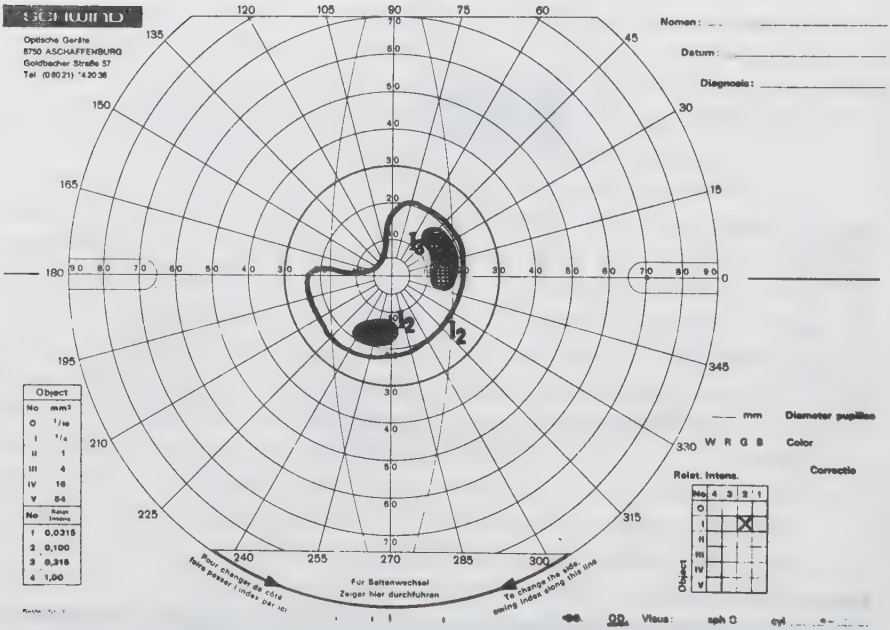


Abb. 18:

Beispiel für ein pathologisches zentrales kinetisches Gesichtsfeld: 1) Einschränkung der Isoptere I/2 nasal oben. 2) Vergrößerung des blinden Flecks temporal oben. 3) Skotom mit der Lichtmarke I/2 innerhalb der Isoptere I/2.

In einer weiteren Auswertung wurden die mittleren Abweichungen bei wiederholter Untersuchung der Isopteren I/1, I/2, I/3 und

I/4 bestimmt, aufgeschlüsselt nach dem Alter der Patienten. Es erfolgte eine Einteilung in zwei Gruppen: von 10 - 59 Jahre und von 60 bis über 80 Jahre. Eine folgende Auswertung stellte die mittleren Abweichungen der Isopteren in Abhängigkeit vom Visus der untersuchten Augen dar, wobei eine Gruppe von Augen mit einem Visus von 0,4 bis 0,7 und eine zweite mit einem Visus von 0,8 bis 1,2 gebildet wurde. Schließlich wurden die mittleren Abweichungen der Isopteren noch nach dem intraocularen Druck der untersuchten Augen aufgeschlüsselt: 1) i.o. Druck $\leq$20 mmHg und 2) i.o. Druck $>$20 mmHg. Unter Bezugnahme auf die oben definierten Kriterien für ein pathologisches beziehungsweise normales Gesichtsfeld wurden die 163 kinetischen Erstbefunde mit den 163 kinetischen Zweitbefunden verglichen und die Übereinstimmung zwischen Erst- und Zweituntersuchung errechnet.
Die 326 Computer-Gesichtsfeldbefunde wurden zunächst insgesamt auf ihre Reproduzierbarkeit hin überprüft. Bei den 163 Augen wurden 64 Punkte im zentralen Gesichtsfeld auf ihre Lichtunterschiedsempfindlichkeit getestet. Die jeweils 64 Leuchtdichtestufen des ersten Computerbefundes wurden mit den 64 Leuchtdichtestufen des zweiten Computerbefundes verglichen (n=10432, siehe Abbildung 23). In einer weiteren Auswertung wurden die Abweichungen der Leuchtdichte zwischen Erst- und Zweituntersuchung in Abhängigkeit vom Alter und vom Visus entsprechend der Gruppeneinteilung bei den kinetischen Gesichtsfeldbefunden nach Goldmann überprüft. Die Abweichungen der einzelnen Leuchtdichtestufen in Abhängigkeit vom intraocularem Druck der untersuchten Augen wurden in drei Gruppen unterteilt: bis 20 mmHg, 20 bis 30 mmHg und über 30 mmHg.
Da die Computerbefunde die genaue Fixationsabweichung des Auges in Prozent ausdrückten, konnte eine Reproduzierbarkeit auch im Hinblick auf die Fixationsabweichung als Maß für die Kooperativität des Patienten bestimmt werden. Es wurden drei Gruppen von Augen gebildet, wobei jeweils die mittlere Fixationsabweichung aus den zwei wiederholten Untersuchungen errechnet wurde: Gruppe 1 mit einer Fixationsabweichung von 0 %, Gruppe 2 mit einer Fixationsabweichung von 1 - 10 % und Gruppe 3 mit einer Fixationsabweichung von 11 - 30 %. Schließlich wurden noch die Leuchtdichtestufen-Differenzen an den einzelnen Testpunkten nach der Lage der Leucht-

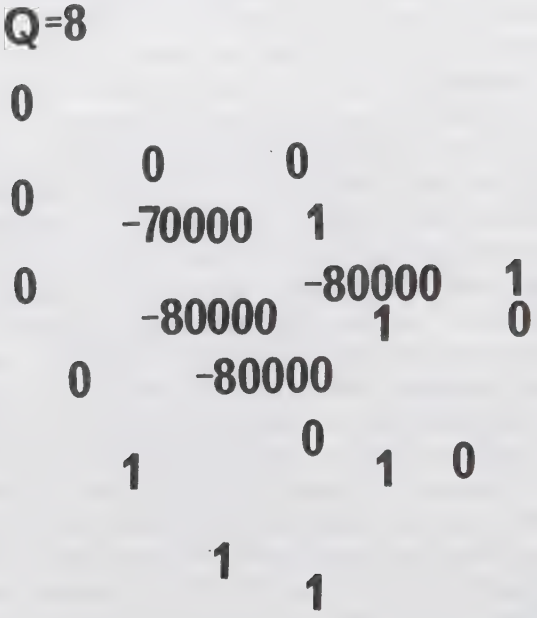


Abb. 19:
Beispiel für einen parazentralen Gesichtsfeldausfall untersucht mit dem computergesteuerten Perimeter nach Krakau/Heijl. Die negativen Zahlen kennzeichnen einen absoluten Skotombereich.

dioden bei 5^{o}, 10^{o}, 15^{o} und 20^{o} Exzentrizität errechnet. Unter Einbeziehung der oben definierten Kriterien für ein pathologisches beziehungsweise normales Computer-Gesichtsfeld wurde die Gesamtübereinstimmung zwischen Erst- und Zweitbefunden bestimmt.

Im Hinblick auf die Problematik der Gesichtsfelduntersuchung im Bereich des blinden Flecks wurden bei den Computerbefunden 13 Testpunkte in seinem Bereich gewählt (siehe Abbildung 20) und dort die entsprechenden Abweichungen in den Leuchtdichtestufen ausgezählt. Somit konnten bei der Computer-Perimetrie im Bereich des blinden Flecks die unterschiedlichen Angaben bei wiederholter Untersuchung quantitativ dargestellt werden. In einer zweiten Untersuchung wurde unter Bezugnahme auf die oben definierten Kriterien für einen normalen beziehungsweise pathologisch vergrößerten blinden Fleck auf dem Computer-Gesichtsfeldbefund die Reproduzierbarkeit in diesem Bereich überprüft. Schließlich wurde in einer dritten Analyse ein signifikant unterschiedliches Ergebnis am Computer-Perimeter dann angenommen, wenn in mindestens zwei der 13 Prüfpunkte im Bereich des blinden Flecks eine Differenz der Leuchtdichtestufen von mehr als drei vorlag.

Die Reproduzierbarkeit der kinetischen Perimetrie des blinden Flecks wurde in zweifacher Hinsicht untersucht: 1) Ein wesentlicher Unterschied zwischen den beiden kinetischen Prüfungen des blinden Flecks bestand, wenn bei einem Befund der vorher definierte Normbereich (siehe Abbildung 17) überschritten wurde. 2) Ein signifikanter Unterschied wurde ebenfalls angenommen, wenn in zwei der acht Kardinalrichtungen des Gesichtsfeldschemas nach Goldmann eine Differenz in der Ausdehnung des blinden Flecks von 5 Grad oder mehr bestand.

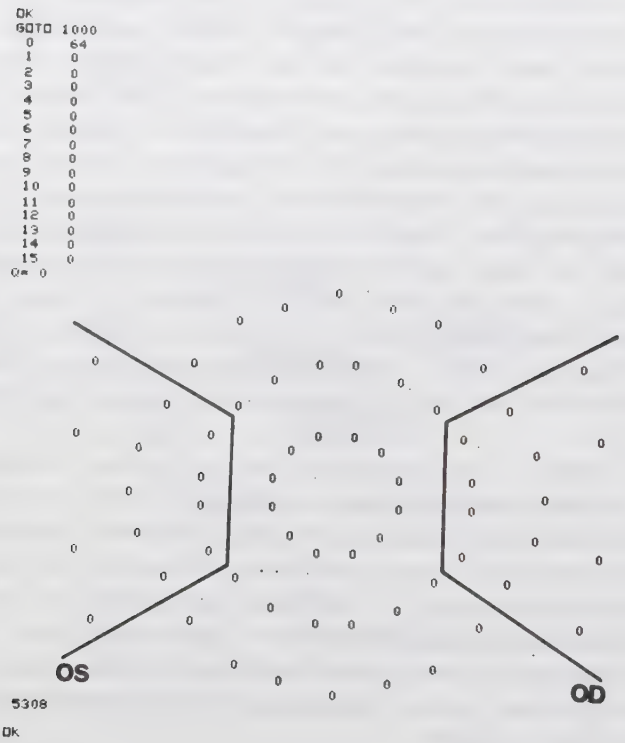


Abb. 20:

Testpunktverteilung entsprechend der Anordnung der lichtemittierenden Dioden auf dem Perimeterschirm nach Krakau/Heijl. Die 13 Testpunkte, die den blinden Fleck enthalten können, sind jeweils ausgeklammert.

III. Ergebnisse

1. Die Reproduzierbarkeit der Befunde bei der kinetischen Perimetrie

Die Auswertung der 163 Doppeluntersuchungen mit der kinetischen Prüfmethode nach Goldmann ergab folgende Ergebnisse:
Bei der Prüfung auf einen unterschiedlichen Isopterenverlauf bei der kinetischen Perimetrie innerhalb 30° Exzentrizität zwischen Erst- und Zweituntersuchung wurden zunächst 65 Isopteren der Lichtmarke I/1 ausgewertet. Die mittlere Abweichung zwischen Erst- und Zweituntersuchung dieser Isopteren betrug 2,53 $\pm$ 1,17 Grad. Bei 130 Isopteren der Lichtmarke I/2 betrug die mittlere Abweichung 3,70 $\pm$ 2,07 Grad. Bei 56 Isopteren der Lichtmarke I/3 war die mittlere Abweichung 5,44 $\pm$ 3,68 Grad. Diese Angaben beziehen sich auf Unterschiede im Isopterenverlauf innerhalb von 30° Exzentrizität. Außerhalb des zentralen Gesichtsfeldes wurden 143 Isopteren der Marke I/4 zwischen Erst- und Zweituntersuchung verglichen. Die mittlere Abweichung des Isopterenverlaufes in den 12 Hauptmeridianen des Gesichtsfeldes betrug hierbei 4,73 $\pm$ 1,94 Grad. Die entsprechende mittlere Differenz des Isopterenverlaufes bei 28 Isopteren der Lichtmarke III/4 war 7,32 $\pm$ 3,68 Grad. Bei 10 ausgewerteten Isopteren der Lichtmarke V/4 ergab sich eine mittlere Differenz von 9,30 $\pm$ 3,56 Grad. Die durchschnittliche Differenz des Isopterenverlaufes in den 12 Hauptmeridianen des Gesichtsfeldes bei zwei voneinander unabhängigen Untersuchern bei der kinetischen Perimetrie in Abhängigkeit der geprüften Lichtmarken ist in der Abbildung 21 dargestellt.
Die durchschnittlichen Abweichungen im Isopterenverlauf für die verschiedenen geprüften Lichtmarken bei 163 Doppeluntersuchungen in Abhängigkeit vom Alter der untersuchten Patienten ist in der Tabelle 1 zusammengestellt.
Die Abhängigkeit des unterschiedlichen Isopterenverlaufes für die verschiedenen geprüften Lichtmarken von der zentralen Sehschärfe bei den untersuchten Patienten ist in der Tabelle 2 zusammengefaßt. Es wurden die Differenzen im Isopterenverlauf bei 163 Doppeluntersuchungen für eine Patientengruppe mit einer

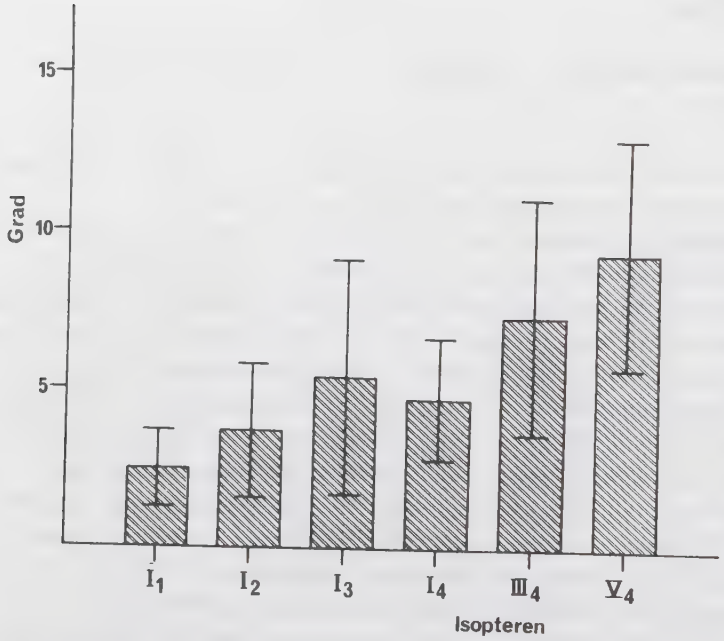


Abb. 21:

Mittlere Differenz des Isopterenverlaufes bei der kinetischen Perimetrie von 163 Doppeluntersuchungen in Abhängigkeit der geprüften Lichtmarken. Die Ordinate gibt mit der Höhe der schraffierten Säulen die mittlere Differenz, die senkrechten Striche die dazugehörigen Standardabweichungen wieder. In der Abszisse sind die geprüften Lichtmarken aufgetragen.

zentralen Sehschärfe von 0,8 bis 1,2 und für eine Patientengruppe mit einer zentralen Sehschärfe von 0,4 bis 0,7 bei vier verschiedenen Lichtmarken aufgezeigt.

In gleicher Weise wurden die Differenzen des Isopterenverlaufes bei den 163 Doppeluntersuchungen des kinetischen Gesichtsfeldes durch zwei voneinander unabhängige Untersucher in Abhängigkeit von der Höhe des Augeninnendruckes der untersuchten Patienten

	I/1	I/2	I/3	I/4	Lichtmarken
10-59 Jahre	46	75	21	82	Anzahl der Isopteren
	2,58°	3,72°	6,15°	4,57°	Abweichungen
	19	55	35	61	Anzahl der Isopteren
60-89 Jahre	2,38°	3,68°	5,01°	4,96°	Abweichungen

Tab. 1:
Mittlere Differenzen des Isopterenverlaufes in den 12 Hauptmeridianen des Gesichtsfeldes für zwei Altersgruppen der untersuchten Patienten für verschiedene geprüfte Lichtmarken bei zwei unabhängigen Untersuchern.

	I/1	I/2	I/3	I/4	Lichtmarken
0,8-1,2	51	84	19	87	Anzahl der Isopteren
	2,49°	3,66°	5,13°	4,68°	Abweichungen
	14	46	37	56	Anzahl der Isopteren
0,4-0,7	2,68°	3,77°	5,59°	4,81°	Abweichungen

Tab. 2:
Mittlere Differenzen des Isopterenverlaufes bei verschiedenen Lichtmarken bei 163 Doppeluntersuchungen des kinetischen Gesichtsfeldes in Abhängigkeit von der zentralen Sehschärfe der untersuchten Patienten.

geprüft. Die Tabelle 3 zeigt diese Relation für zwei Patientengruppen bei einem Augeninnendruck von 20 mmHg oder weniger und

für eine Gruppe von Patienten mit einem Augeninnendruck von mehr als 20 mmHg.

	I/1	I/2	I/3	I/4	Lichtmarken
≤ 20 mmHg	44	75	29	84	Anzahl der Isopteren
	2,70°	3,55°	5,32°	4,75°	Abweichungen
	21	55	27	59	Anzahl der Isopteren
> 20 mmHg	2,27°	3,92°	5,56°	4,71°	Abweichungen

Tab. 3:
Die mittleren Differenzen im Isopterenverlauf für verschiedene Lichtmarken bei einer Doppeluntersuchung des kinetischen Gesichtsfeldes bei 163 Augen in Abhängigkeit vom Augeninnendruck.

Die Reproduzierbarkeit der in der Erstuntersuchung erhobenen Befunde bei 163 kinetischen Gesichtsfeldern unter Zugrundelegung der vorher definierten Kriterien für ein normales oder pathologisches zentrales kinetisches Gesichtsfeld ist in der Abbildung 22 dargestellt. Bei 107 von 163 geprüften Gesichtsfeldern fanden sich pathologische Veränderungen in der Erstuntersuchung. Im gleichen Untersuchungsgang erwiesen sich 56 Gesichtsfelder als normal. Die in der Erstuntersuchung als pathologisch befundenen Gesichtsfelder erwiesen sich bei der Zweituntersuchung in 92 der Fälle erneut als pathologisch, in 15 Fällen jedoch als normal. Die in der Erstuntersuchung als normal befundenen Gesichtsfelder zeigten bei der Zweituntersuchung am kinetischen Perimeter nach Goldmann in 26 der Fälle einen normalen Befund, in 30 der Fälle einen pathologischen. Somit ergab sich für die in der Erstuntersuchung als pathologisch erwiesenen Gesichtsfelder eine Übereinstimmung mit der Zweit-

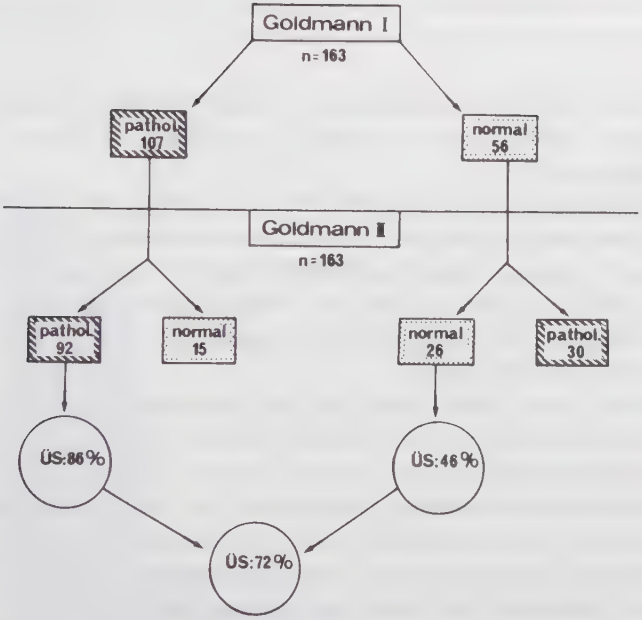


Abb. 22:

Die Reproduzierbarkeit der kinetischen Perimetrie nach Goldmann bezüglich des zentralen Gesichtsfeldes bei 163 Augen durch zwei voneinander unabhängige Untersucher. Die rechteckigen Kästchen ergeben die Anzahl der als pathologisch oder normal ermittelten zentralen kinetischen Gesichtsfelder in der Erstuntersuchung (Goldmann I) und in der Zweituntersuchung (Goldmann II) wieder. Die Kreise zeigen die relative Häufigkeit der Übereinstimmung zwischen Erst- und Zweituntersuchung für pathologische (linker Teil der Abbildung) und für normale Gesichtsfelder (rechter Teil der Abbildung) und die Gesamtübereinstimmung (unterer Teil der Abbildung).

untersuchung von 86 %, dagegen bei den in der Erstuntersuchung als normal befundenen Gesichtsfeldern in der Zweituntersuchung eine Übereinstimmung von 46 %. Die gesamte Übereinstimmung zwischen Erst- und Zweituntersuchung betrug 72 %.

2. Die Reproduzierbarkeit der statischen, computergesteuerten Perimetrie des zentralen Gesichtsfeldes

Die Auswertung der 163 Doppeluntersuchungen mit dem computergesteuerten, statischen Perimeter nach Krakau/Heijl brachte folgende Ergebnisse:
Die Differenzen in den Schwellenwerten für identische Netzhautorte bei 64 Prüfpunkten des zentralen Gesichtsfeldes wurden an insgesamt 10432 angegebenen Testpunkten ermittelt. Die Abbildung 23 zeigt die relative Häufigkeit der Differenzen der angegebenen Schwellenwerte bei 163 Doppeluntersuchungen an jeweils 64 Punkten des zentralen Gesichtsfeldes.
Die Abhängigkeit der Differenzen in den Leuchtdichtestufen zwischen Erst- und Zweituntersuchung vom Alter ist in der Abbildung 24 dargestellt. In der Gruppe der 10 bis 59-jährigen wurden 90 Doppeluntersuchungen verglichen. In der Altersgruppe der 60 bis 80-jährigen wurden 73 Doppeluntersuchungen miteinander verglichen. In der ersten Gruppe wurde kein Unterschied in den Leuchtdichtestufen in 48,4 % und in der zweiten Gruppe kein Unterschied in 49,0 % ermittelt. Lediglich eine Leuchtdichtestufe-Differenz ergab sich in einer Häufigkeit von 38,6 % für die jüngeren Patienten und in 35,5 % für die älteren Patienten.
Zwei Leuchtdichtestufen Differenz zwischen Erst- und Zweituntersuchung wurde in 7,4 % bei der jüngeren Altersgruppe und in 7,7 % bei der älteren Altersgruppe gefunden.
Ein Unterschied von drei Leuchtdichtestufen an verschiedenen Orten der zentralen Netzhaut wurde bei der Doppeluntersuchung in 2,6 % bei den jüngeren, jedoch in 3,9 % bei den älteren Patienten ermittelt. Abweichungen von vier und mehr Leuchtdichtestufen zwischen zwei aufeinander folgenden Untersuchungen ergaben sich in 3,0 % bei der ersten Altersgruppe und in 3,9 % bei der zweiten Altersgruppe.
Die Reproduzierbarkeit der statischen Gesichtsfeldbefunde in Abhängigkeit von der zentralen Sehschärfe der untersuchten Patienten wird in Abbildung 25 gezeigt. 89 der untersuchten Augen hatten eine zentrale Sehschärfe von 0,8 bis 1,2; 74 Augen hatten eine Sehschärfe von 0,4 bis 0,7. In der ersten Gruppe mit der besseren zentralen Sehschärfe fand sich kein Unterschied in den

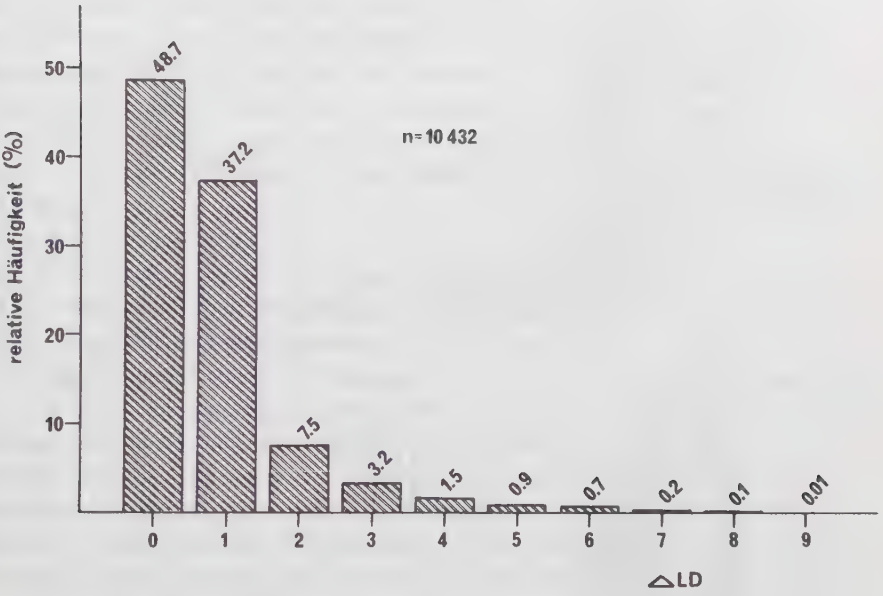


Abb. 23:

Die relative Häufigkeit der Differenzen der ermittelten Schwellenwerte des zentralen Gesichtsfeldes an 64 Prüfpunkten bei 163 Doppeluntersuchungen mit dem computergesteuerten, statischen Perimeter nach Krakau/Heijl. Die Schwellenwerte der Netzhaut werden mit den Leuchtdichtestufen der lichtemittierenden Dioden des Perimeters identisch gesetzt. In der Ordinate ist die relative Häufigkeit der Differenzen zwischen Erst- und Zweituntersuchung in Prozent, in der Abszisse die Größe der Differenz zwischen Erst- und Zweituntersuchung aufgetragen. Kein Unterschied in den Leuchtdichtestufen an den verschiedenen Netzhautorten fand sich bei 5075 Testpunkten, entsprechend einer relativen Häufigkeit von 48,7 %. Eine Differenz von einer Leuchtdichtestufe zwischen Erst- und Zweituntersuchung fand sich bei 3878 Lichtpunkten (37,2 %). Bei 786 Testpunkten (7,5 %) ergab sich eine Differenz von zwei Leuchtdichtestufen und bei 333 Testpunkten (3,2 %) ein Unterschied von drei Leuchtdichtestufen. Eine Differenz zwischen Erst- und Zweituntersuchung von mehr als drei Leuchtdichtestufen wurde bei 3,4 % aller Testpunkte ermittelt.

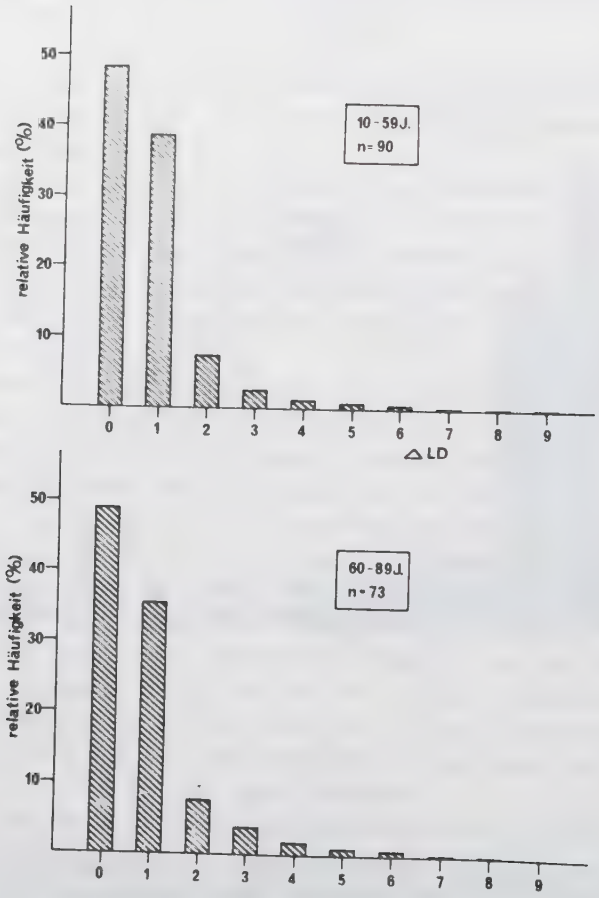


Abb. 24:

Relative Häufigkeit der Differenzen in Prozent der angegebenen Leuchtdichtestufen für verschiedene Orte der zentralen Netzhaut bei zwei Gruppen von Patienten:
Gruppe 1: 10 - 59 Jahre (oberer Teil der Abbildung).
Gruppe 2: 60 - 89 Jahre (unterer Teil der Abbildung).
In der Ordinate ist die relative Häufigkeit, in der Abszisse die Größe der Differenz zwischen Erst- und Zweituntersuchung wiedergegeben.

Leuchtdichtestufen zwischen Erst- und Zweituntersuchung in 49,6 % der Testpunkte. In der zweiten Gruppe mit der geringeren zentralen Sehschärfe war dies bei 47,5 % aller Testpunkte der Fall. Eine Leuchtdichtestufe Differenz ergab sich in 37,6 % für die erste Gruppe und in 36,7 % für die zweite Gruppe. Zwei Leuchtdichtestufen Differenz fanden sich in 7,2 % der ersten Gruppe und in 8,0 % der zweiten Gruppe, und drei Leuchtdichtestufen Differenz wurden bei 2,4 % der ersten Gruppe und 4,1 % der zweiten Gruppe gefunden. Differenzen von mehr als drei Leuchtdichtestufen waren in der Gruppe mit der besseren zentralen Sehschärfe in 3,2 % und in 3,7 % aller Testpunkte in der Gruppe mit der geringeren zentralen Sehschärfe vorhanden.
Die Gruppierung der untersuchten Augen nach der Höhe des Augeninnendruckes und die Abhängigkeit von den ermittelten Differenzen in den Leuchtdichtestufen ergab eine Gruppe von 74 Augen mit einem Augeninnendruck von weniger als 20 mmHg und eine Gruppe von 76 Augen mit einem Augeninnendruck von 20 - 30 mmHg. Bei 13 untersuchten Augen (siehe Abbildung 26) lag ein Augeninnendruckniveau von über 30 mmHg vor (Gruppe 3). Keine Differenz in den Leuchtdichtestufen identischer Netzhautorte ergab sich in der Gruppe 1 in 49,9 % der Testpunkte, in der Gruppe 2 in 47,5 % der Testpunkte und in Gruppe 3 in 48,2 % der Testpunkte. Eine Leuchtdichtestufe Differenz ergab sich entsprechend in 37,0 %, 38,0 % und 33,5 % aller Testpunkte. Zwei Leuchtdichtestufen Differenz wurden für die drei untersuchten Gruppen in Abhängigkeit vom Augeninnendruck bei 7,2 %, 7,8 % und 8,1 % der Testpunkte gefunden. Drei Leuchtdichtestufen Differenz ergaben sich in 2,9 %, 3,2 % und 4,6 % aller Testpunkte. Abweichungen in mehr als drei Leuchtdichtestufen zwischen Erst- und Zweituntersuchung in Abhängigkeit vom Augeninnendruck der drei Patientengruppen wurden in 3,0 % der Testpunkte bei Gruppe 1, in 3,5 % der Testpunkte bei Gruppe 2 und in 5,6 % bei Gruppe 3 gefunden.
Die Fixationsabweichung während der statischen, computergesteuerten Perimetrie wurde als ein Maß für die Kooperativität des Untersuchten betrachtet, und die 163 Doppeluntersuchungen wurden erneut in drei Gruppen eingeteilt: Gruppe 1 (42 Augen) mit einer Fixationsabweichung von 0 %, Gruppe 2 (89 Augen) mit einer Fixationsabweichung von 1 - 10 % und Gruppe 3 (32 Augen) mit einer Fixationsabweichung von 11 - 30 %. Die Häufigkeit der

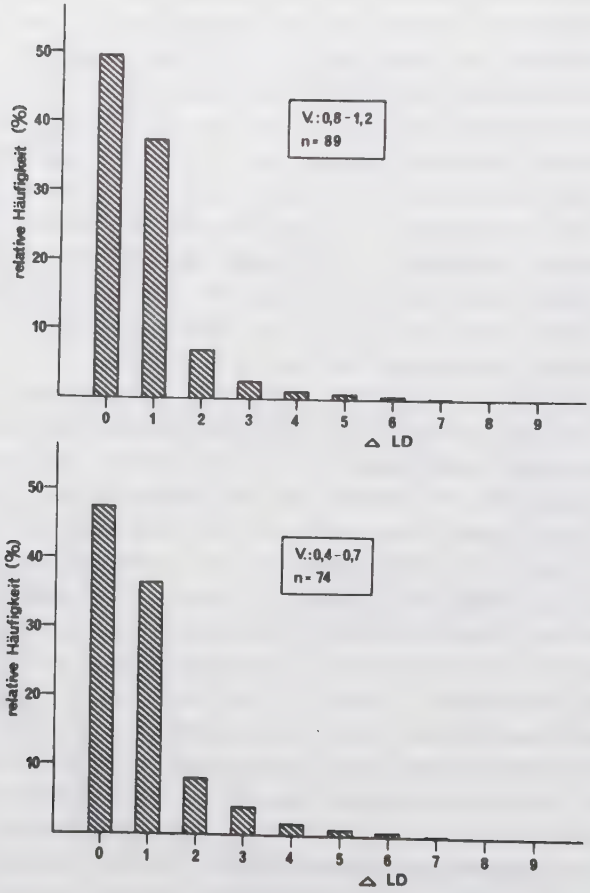


Abb. 25:

Relative Häufigkeit in Prozent der Differenzen der ermittelten Leuchtdichtestufen für die Schwellenwerte der zentralen Netzhaut an 64 Prüfpunkten bei einer zentralen Sehschärfe der Untersuchten von 0,8 bis 1,2 (oberer Teil der Abbildung) und einer zentralen Sehschärfe der Untersuchten von 0,4 bis 0,7 (unterer Teil der Abbildung) In der Ordinate ist die relative Häufigkeit in Prozent, in der Abszisse die Größe der Differenz in den Leuchtdichtestufen zwischen Erst- und Zweituntersuchung aufgetragen.

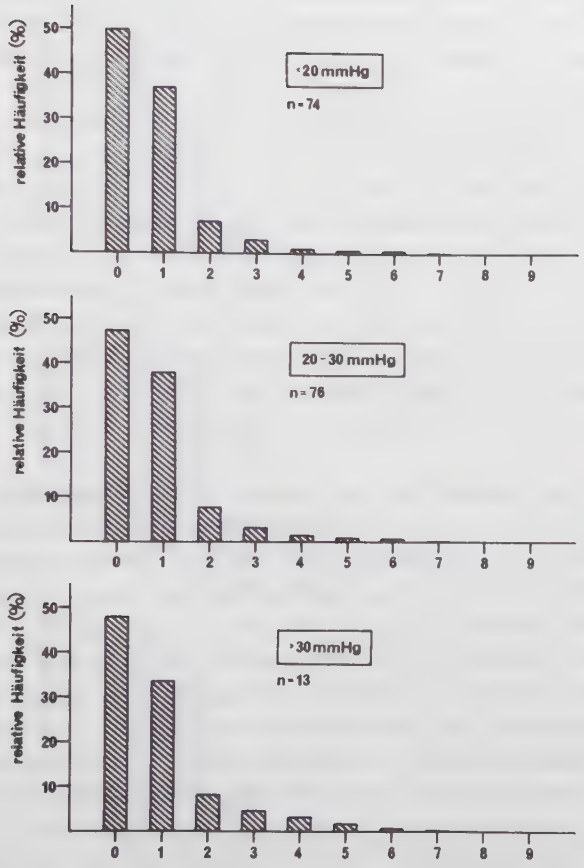


Abb. 26:

Relative Häufigkeit in Prozent der Differenzen der ermittelten Leuchtdichtestufen für die 64 Testpunkte im zentralen Netzhautbereich bei 3 Gruppen von Patienten: Gruppe 1 mit einem Augeninnendruck von weniger als 20 mmHg (oberer Teil der Abbildung), Gruppe 2 mit einem Augeninnendruck von 20- bis 30 mmHg (mittlerer Teil der Abbildung) und Gruppe 3 mit einem Augeninnendruck über 30 mmHg (unterer Teil der Abbildung). In der Ordinate ist die relative Häufigkeit in Prozent, in der Abszisse die Größe der Differenz zwischen Erst- und Zweituntersuchung dargestellt.

Differenzen in den Leuchtdichtestufen bei den drei verschiedenen Gruppen unterschiedlicher Fixationsgüte als Maß für die Kooperativität des Patienten ist in der Abbildung 27 zusammengestellt. Bei der ersten Gruppe fand sich kein Unterschied in den Leuchtdichtestufen in 55,3 % der Prüfpunkte, bei der zweiten Gruppe fand sich keine Differenz in den Leuchtdichtestufen bei der Prüfung gleicher Netzhautorte in 46,7 % und bei der dritten Gruppe in 45,5 % der Testpunkte. Die entsprechenden Häufigkeiten von einer Leuchtdichtestufe Differenz bei den drei Gruppen betrug 31,4 %, 39,6 % und 37,9 %; von zwei Leuchtdichtestufen betrugen sie 6,7 %, 7,6 % und 8,5 % und von drei Leuchtdichtestufen 3,2 %, 3,0 % und 3,8 % aller Prüfpunkte. Eine Differenz von mehr als drei Leuchtdichtestufen fand sich bei den drei Gruppen in 3,4 % für die Gruppe 1, in 3,1 % für die Gruppe 2 und in 4,3 % für die Gruppe 3.

Untersucht man das Ausmaß der Differenzen in den Leuchtdichtestufen zwischen Erst- und Zweituntersuchung bei der computergesteuerten Perimetrie in Abhängigkeit von der Exzentrizität der Netzhautprüfpunkte, so ist eine Aufteilung der ermittelten Ergebnisse in vier Gruppen möglich: Exzentrizität von 5^{o}, 10^{o}, 15^{o} und 20^{o}. Die Ergebnisse der Reproduzierbarkeit der Befunde bei der statischen, computergesteuerten Perimetrie in Abhängigkeit von der Exzentrizität der Netzhautprüfpunkte ist in der Abbildung 28 zusammengestellt. Keine Differenz in den Leuchtdichtestufen für die vier Gruppen von Prüfpunkten unterschiedlicher Exzentrizität ergab sich in 53,4 % bei 5^{o} Exzentrizität, in 50,3 % bei 10^{o} Exzentrizität, in 45,5 % bei 15^{o} Exzentrizität und in 47,0 % der Testpunkte bei 20^{o} Exzentrizität. In gleicher Reihenfolge fand sich eine Stufe Differenz in der Leuchtdichte in 37,4 %, 38,7 %, 36,6 % und 33,8 % aller Prüfpunkte. Zwei Leuchtdichtestufen Differenz wurden bei gleicher Reihenfolge in 5,2 %, 6,1 %, 9,6 % und 8,4 % ermittelt. Drei Leuchtdichtestufen Differenz fanden sich in 2,1 %, 2,6 %, 3,8 % und 4,6 % aller Prüfpunkte. Die geringe Übereinstimmung zwischen Erst- und Zweituntersuchung in Form von mehr als drei Leuchtdichtestufen Unterschied wurde in 1,9 %, 2,3 %, 4,5 % und 6,2 % der Testpunkte gefunden.

Die Reproduzierbarkeit des statischen, computergesteuerten zentralen Gesichtsfeldes hinsichtlich eines eindeutig pathologischen

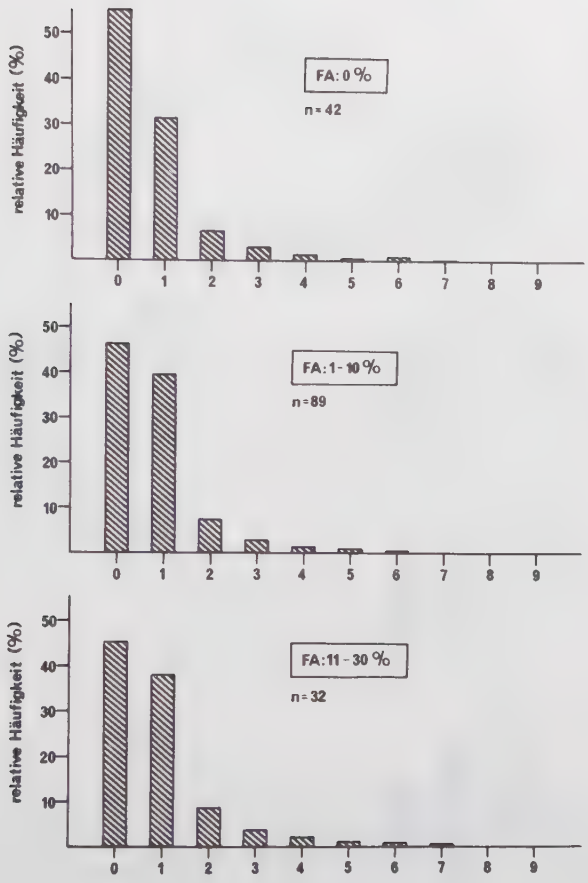


Abb. 27:

Relative Häufigkeit der Differenzen von Leuchtdichtestufen zwischen Erst- und Zweituntersuchung am computergesteuerten Perimeter nach Krakau/Heijl in Abhängigkeit von der Fixationsgüte. Die Häufigkeit der Differenzen für eine Patientengruppe mit einer Fixationsabweichung während der Untersuchung von 0 % ist im oberen Teil der Abbildung, für eine Fixationsabweichung von 1 - 10 % im mittleren Teil der Abbildung und für eine Fixationsabweichung von 11 - 30 % im unteren Teil der Abbildung wiedergegeben. Die Ordinate zeigt jeweils die relative Häufigkeit der Differenzen von Leuchtdichtestufen in Prozent, die Abszisse die Größe der Differenz in den Leuchtdichtestufen bei der Prüfung identischer Netzhautorte.

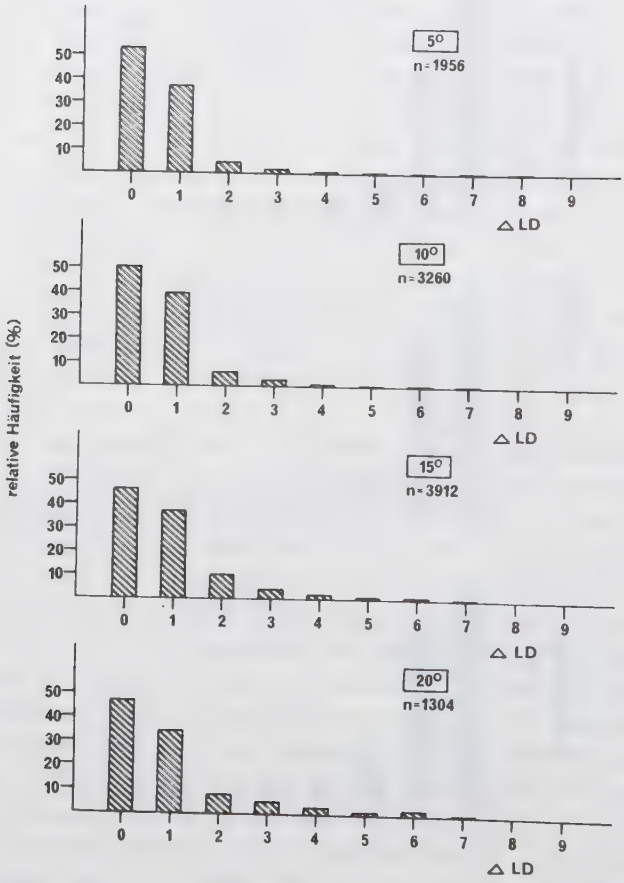


Abb. 28:

Relative Häufigkeit der Differenzen in den Leuchtdichtestufen in Abhängigkeit von der Exzentrizität der Netzhautprüfpunkte. Die Häufigkeit der Differenzen bei 5 Grad Exzentrizität und 10 Grad Exzentrizität ist in den beiden oberen Abbildungen dargestellt. Die relative Häufigkeit der Leuchtstufendifferenzen bei 15 Grad und 20 Grad Exzentrizität ist in den beiden unteren Abbildungen dargestellt. Die Ordinate zeigt jeweils die relative Häufigkeit in Prozent, die Abszisse die Größe der Differenz in den Leuchtdichtestufen zwischen Erst- und Zweituntersuchung.

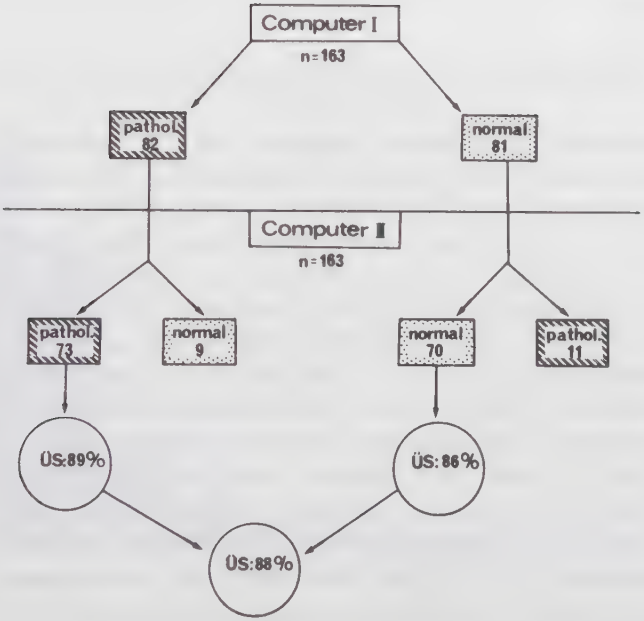


Abb. 29:

Die Reproduzierbarkeit der zentralen computergesteuerten, statischen Perimetrie. Die Erstuntersuchung (Computer I) ist im oberen Teil der Abbildung, die Zweituntersuchung (Computer II) ist im unteren Teil der Abbildung wiedergegeben. Die rechteckigen Kästchen stellen die Anzahl von pathologischen und normalen Gesichtsfeldern bei Erst- und Zweituntersuchung dar; die Kreise die Übereinstimmung in Prozent zwischen Erst- und Zweituntersuchung. Bei den 163 Erstuntersuchungen ergaben sich 82 pathologische und 81 normale Gesichtsfelder. Die im ersten Untersuchungsgang als pathologisch eingestuften Gesichtsfelder fanden sich in 73 Fällen bei der Zweituntersuchung erneut als pathologisch und in 9 Fällen als normal. Das entspricht einer Übereinstimmung zwischen Erst- und Zweituntersuchung bei den pathologischen Befunden von 89 %. Von den in der ersten Untersuchung als normal befundenen 81 Gesichtsfeldern waren in der Zweituntersuchung 70 normal und 11 pathologisch; das entspricht einer Übereinstimmung von 86 % bei den normalen Gesichtsfeldbefunden. Damit ermittelt sich eine gesamte Übereinstimmung von 88 %.

oder eindeutig normalen Gesichtsfeldes wird in der Abbildung 29 wiedergegeben.

3. Die Reproduzierbarkeit der Prüfung des blinden Flecks

Die Überprüfung der Reproduzierbarkeit der 13 Testpunkte im Bereich des blinden Flecks bei der statischen Perimetrie mit dem Computer-Perimeter nach Krakau/Heijl wurde an 158 der 163 Augen untersucht. Bei fünf Augen wurde wegen eines Halbseiten- oder Quadrantenausfalles oder eines sehr großen blinden Flecks ein solcher nicht angegeben. Untersucht man die Differenzen in den Leuchtdichtestufen gezielt an den 13 Testpunkten, die im Bereich des blinden Flecks liegen (bei 158 Augen 2054 Testpunkte), so ergibt sich kein Unterschied in den Leuchtdichtestufen in 44,4 % aller Testpunkte, eine Leuchtdichtestufe Differenz in 33,9 %, zwei Stufen Differenz in 9,6 % und drei Stufen Differenz in 4,9 % aller Testpunkte. Eine Abweichung in vier oder mehr Leuchtdichtestufen wurde bei 7,2 % aller Testpunkte im Bereich des blinden Flecks gefunden. Die relative Häufigkeit der Differenzen von Leuchtdichtestufen im Bereich des blinden Flecks bei der Prüfung mit der statischen, computergesteuerten Perimetrie ist in der Abbildung 30 wiedergegeben.
Die Übereinstimmung zwischen Erst- und Zweituntersuchung bei der kinetischen Perimetrie und der statischen Computer-Perimetrie in der Beurteilung des blinden Flecks ist aus der Abbildung 31 zu ersehen. Dabei fand sich bei der kinetischen Perimetrie eine Übereinstimmung bei der Prüfung des blinden Flecks als normal oder pathologisch in 74 %, bei der Computer-Perimetrie in 89 %. Überprüft man die Ergebnisse bei der Perimetrie des blinden Flecks mit beiden Methoden hinsichtlich einer unterschiedlichen Ausdehnung des blinden Flecks (Definitionen siehe Abschnitt "Methodik"), so ergab sich am Goldmann-Perimeter eine Übereinstimmung von lediglich 34 %, am Computer-Perimeter eine Übereinstimmung von 78 % (siehe Tabelle 4).

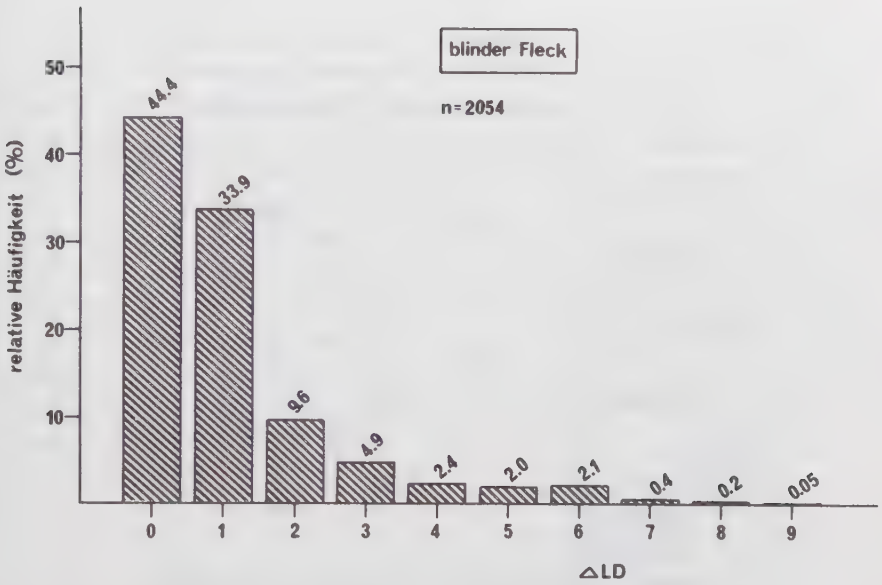


Abb. 30:

Die relative Häufigkeit der Differenzen von Leuchtdichtestufen zwischen Erst- und Zweituntersuchung an 13 Prüfpunkten in der Gegend des blinden Flecks. In der Ordinate ist die relative Häufigkeit der Differenzen in Prozent, in der Abszisse die Größe der Differenz in den Leuchtdichtestufen aufgezeigt.

	Übereinstimmung	
	n = 158	
Goldmann-Perimeter	53	= 34 %
Computer-Perimeter	123	= 78 %

Tab. 4:

Die Übereinstimmung der Perimetrie des blinden Flecks mit der besonderen Fragestellung unterschiedlicher Ausdehnung bei Erst- und Zweituntersuchung. Es wird bei 158 Doppeluntersuchungen die absolute Häufigkeit und die relative Häufigkeit einer unterschiedlichen Ausdehnung bei Erst- und Zweituntersuchung angegeben.

	Goldmann	Computer
normal / normal	84	89
pathol. / pathol.	33	51
normal pathol. / pathol. normal	41	18
Überein = stimmung	74 %	89 %

n=158

Abb. 31:

Die Übereinstimmung zwischen Erst- und Zweituntersuchung bei der Prüfung des blinden Flecks mit dem Goldmann-Perimeter und dem Computer-Perimeter. Im oberen Teil der Abbildung ist die absolute Häufigkeit der Übereinstimmung bei der Ermittlung des blinden Flecks als normal oder pathologisch angegeben. Im unteren Teil der Abbildung ist die absolute Häufigkeit der Abweichung (Erstuntersuchung normal, Zweituntersuchung pathologisch oder umgekehrt) und die relative Häufigkeit der Gesamtübereinstimmung wiedergegeben.

4. Vergleichende Reproduzierbarkeit zwischen kinetischer und computergesteuerter Perimetrie

Die Übereinstimmung zwischen den kinetischen Gesichtsfeldbefunden des zentralen Gesichtsfeldes nach den Kriterien "normal" oder "pathologisch" betrug 72 %. Die Übereinstimmung zwischen den computergesteuerten Befunden nach vergleichbaren Kriterien betrug 88 %. Die Überprüfung der Reproduzierbarkeit der Perimetrie des blinden Flecks zeigte bei der kinetischen Perimetrie eine Gesamtübereinstimmung bezüglich "normal" oder "pathologisch" von 74 %, bei der statischen Perimetrie dagegen eine Übereinstimmung von 89 %. Signifikante Unterschiede in der Ausdehnung des blinden Flecks zwischen Erst- und Zweituntersuchung wurden bei der kinetischen Perimetrie in 66 % der Fälle, bei der statischen, computergesteuerten Perimetrie in 22 % der Fälle gefunden (siehe Tabelle 5).

		Übereinstimmung		
n=163	Goldmann - GF	118	=	72 %
	Computer - GF	143	=	88 %
n=158	Goldmann blinder Fleck	117	=	74 %
	Computer blinder Fleck	140	=	89 %
n=158	Größenunterschied:			
	Goldmann blinder Fleck	53	=	34 %
	Computer blinder Fleck	123	=	78 %

Tab. 5:
Vergleichende Reproduzierbarkeit zwischen kinetischer und computergesteuerter Perimetrie. Es wird das Maß der Übereinstimmung in absoluten Zahlen und in relativen Häufigkeiten wiedergegeben. Es werden die Gesamtbefunde des zentralen Gesichtsfeldes (oberer Teil der Tabelle), die Beurteilung des blinden Flecks (mittlerer Teil der Tabelle) und die Größenunterschiede in der Perimetrie des blinden Flecks (unterer Teil der Tabelle) berücksichtigt.

5. Klinische Beispiele der vergleichenden Perimetrie mit kinetischer Untersuchungsmethode und computergesteuerter, statischer Untersuchungsmethode

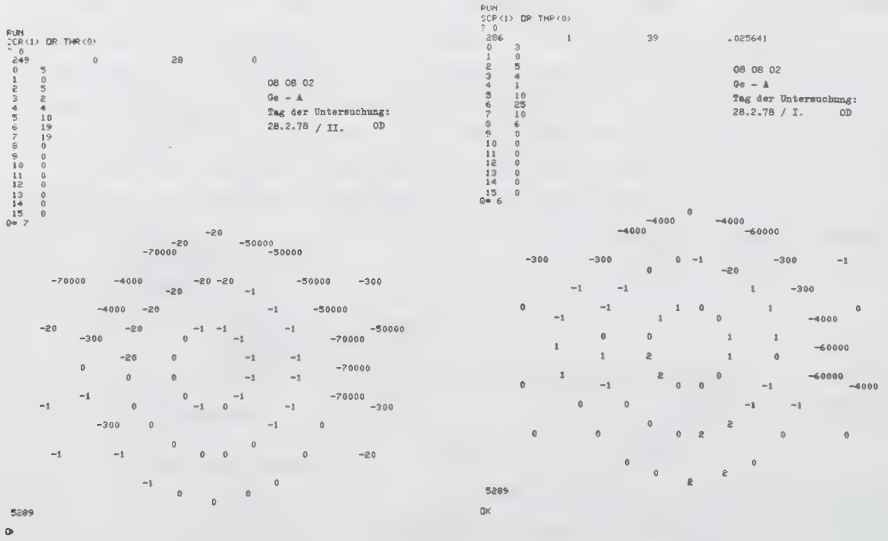


Abb. 32a:

Zentrales Computer-Gesichtsfeld des rechten Auges eines 69-jährigen Glaukompatienten. Es findet sich ein Bogenskotom temporal oben in 15 und 20 Grad Exzentrizität. In der Doppeluntersuchung wird das Ausmaß des Bogenskotoms nach nasal gering unterschiedlich angegeben.

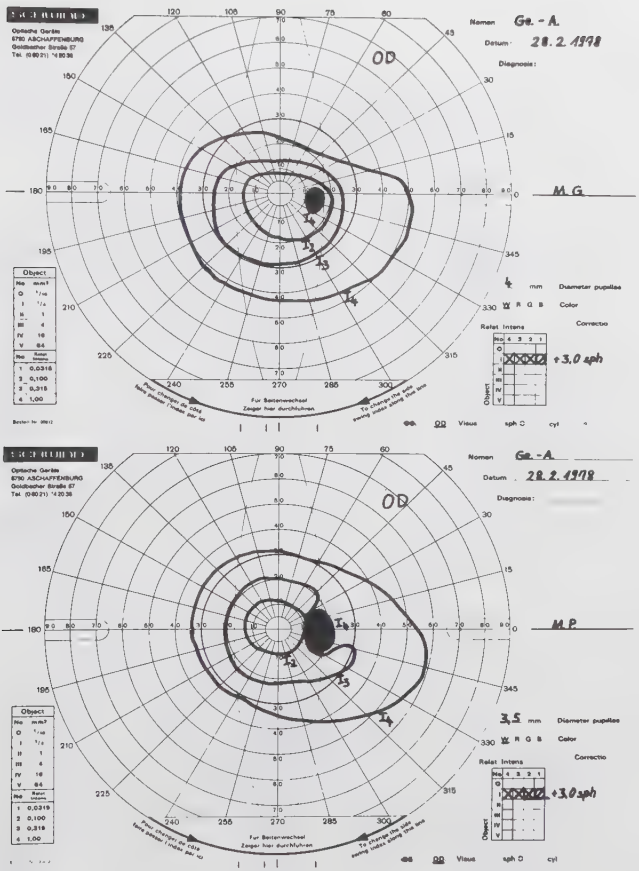


Abb. 32b:

Kinetisches Gesichtsfeld durch zwei unabhängige Untersucher des gleichen Auges wie in der Abbildung 32a. Im oberen Teil der Abbildung findet sich keine Auffälligkeit im zentralen Gesichtsfeldbereich, im unteren Teil der Abbildung bei der Perimetrie durch den zweiten Untersucher findet sich eine Aussparung des blinden Flecks und eine Vergrößerung des blinden Flecks. Der Unterschied zwischen Erst- und Zweituntersuchung mit der kinetischen Perimetrie ist wesentlich.

Abb. 33a:

Zweifache Perimetrie des rechten Auges einer 66-jährigen Glaukompatientin. In beiden Untersuchungen mit dem Computer-Perimeter findet sich übereinstimmend keine pathologische Veränderung des zentralen Gesichtsfeldes.

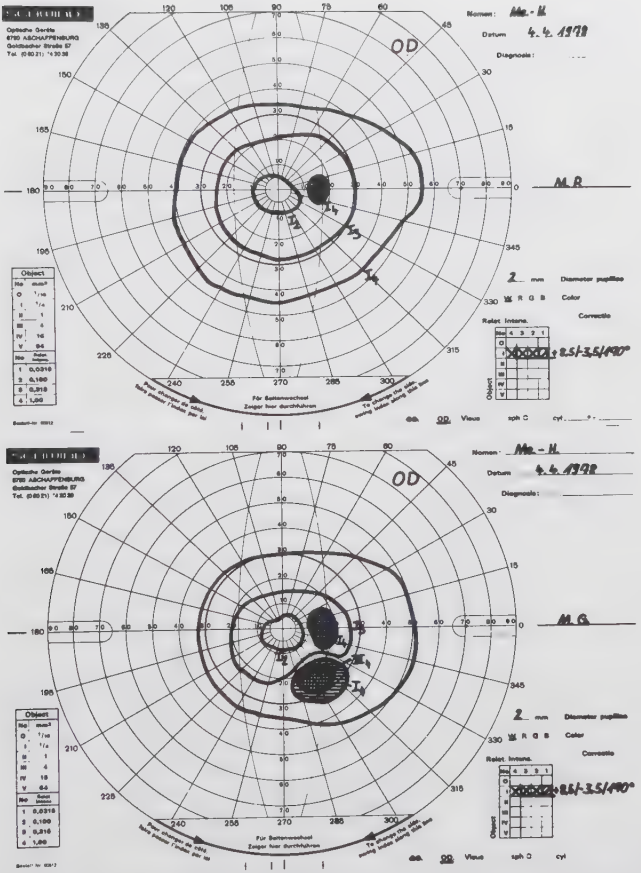


Abb. 33b:

Goldmann-Perimetrie des gleichen Auges wie in Abbildung 33a durch zwei unabhängige Untersucher. Im ersten Untersuchungsgang zeigt sich kein pathologischer Befund. Im zweiten Untersuchungsgang wird ein ausgedehntes Skotom im Bjerrumbereich temporal unten ermittelt, das im ersten Untersuchungsgang nicht perimetriert werden konnte.

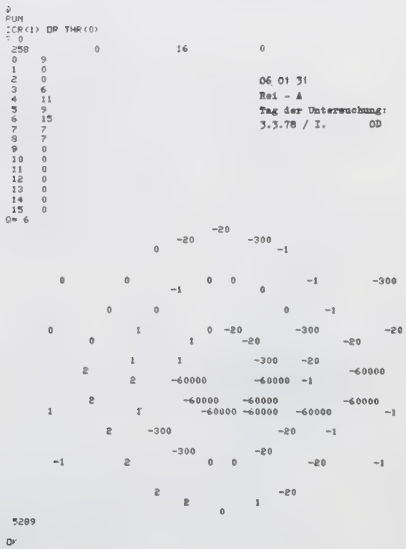


Abb. 34a:

Doppeluntersuchung des zentralen Gesichtsfeldes des rechten Auges einer 72-jährigen Glaukompatientin mit dem Computer-Perimeter. Es findet sich ein ausgedehntes Bjerrumskotom von 5 bis 15 Grad Exzentrizität bei einem angedeuteten Bogenskotom im Bereich von 5 Grad. Die Doppeluntersuchung ergibt einen übereinstimmenden Befund.

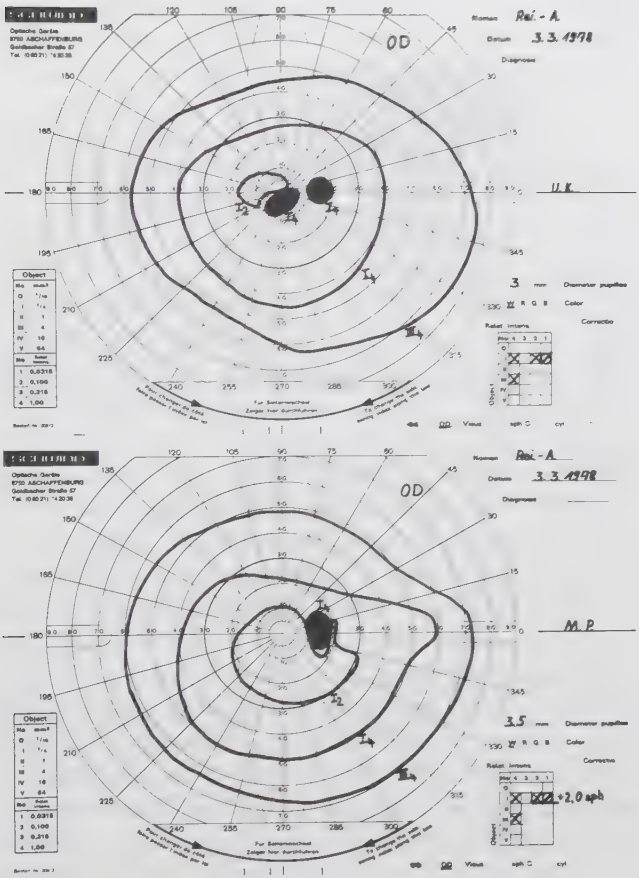


Abb. 34b:

Wiederholte Untersuchung durch zwei voneinander unabhängige Untersucher des gleichen Auges wie in Abbildung 34a mit dem Goldmann-Perimeter. Bei der Erstuntersuchung zeigt sich ein Bjerrumskotom in gleicher Lage wie bei der Computer-Perimetrie ermittelt, jedoch von unterschiedlicher Ausdehnung. Im zweiten Untersuchungsgang findet sich kein Bjerrumskotom, sondern lediglich eine Aussparung des blinden Fleckes. Der Isopterenverlauf für die Lichtmarke I/2 wird erheblich unterschiedlich angegeben.

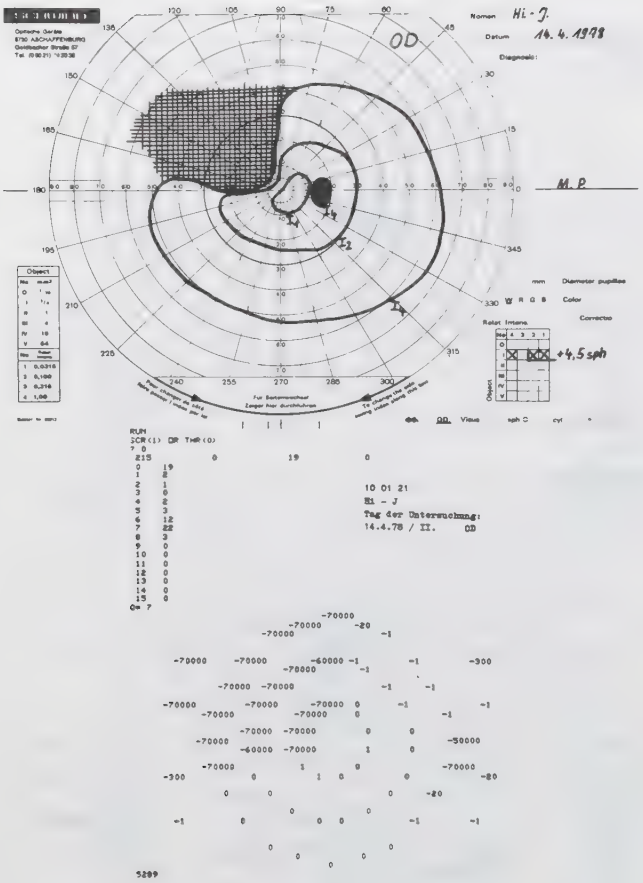


Abb. 35:

Vergleichende Darstellung einer Quadrantenanopsie bei einem 68-jährigen Patienten mit dem kinetischen Perimeter nach Goldmann (oberer Teil der Abbildung); der schraffierte Teil gibt den Bereich des Gesichtsfeldausfalles wieder. Im unteren Teil der Abbildung wird der Einfluß der Quadrantenanopsie im zentralen Gesichtsfeld des Computer-Perimeters wiedergegeben. Es ergibt sich bei diesem Befund eine übereinstimmende Darstellung.

IV. Diskussion der Ergebnisse

Jede Form der Perimetrie hat - wie auch andere sinnesphysiologische Untersuchungen - drei verschiedene Fehlerquellen (SPAHR, 1973), die die Reproduzierbarkeit der Befunderhebung begrenzen. Die erste Fehlerquelle ist in der Reaktionsweise des Patienten selbst zu sehen. Die zweite Ursache für unterschiedliche Befunde bei wiederholter Untersuchung kann im Untersuchungsgerät selbst liegen. Der dritte Unsicherheitsfaktor der Befunderhebung liegt in der unterschiedlichen Technik des gleichen oder verschiedener Untersucher bei wiederholter Untersuchung. Alle drei Faktoren summieren sich zur Gesamtvariabilität der Befunderhebung bei wiederholter Untersuchung, wie sie für die Perimetrie des zentralen Gesichtsfeldes für verschiedene Untersuchungsmethoden in der vorliegenden Studie vergleichend erarbeitet wurde.
Die Fehlerquelle, die durch eine unterschiedliche Reaktion des Patienten im positiven wie im negativen Sinne begründet ist, ist unvermeidbar. Es können einmal bei dem Patienten bei wiederholter Untersuchung ein gewisses Desinteresse und Langeweile im Sinne einer verminderten Kooperationsbereitschaft auftreten, was schlechtere Ergebnisse liefern kann. Zum andern kann bei gleich kooperationsbereitem Patient ein gewisser Trainingseffekt in der Zweituntersuchung bessere Ergebnisse liefern. Die Tatsache, daß ein kranker Mensch mit all seinen Schwächen und Sorgen bezüglich seiner Erkrankung untersucht wird, ergibt von Fall zu Fall eine verschiedene, nicht vermeidbare Variabilität der Untersuchungsergebnisse. Diese Variabilität der Befunderhebung, die im Patienten selbst liegt, ist somit unvermeidbar. Die Information des Untersuchungsergebnisses für die Diagnose und Behandlung muß jeweils unter diesem Aspekt gesehen werden.
Auch das Untersuchungsgerät selbst hat einen bestimmten konstanten Fehler. Diesen Fehler mit zunehmender technischer Perfektion ganz zu beseitigen, ist aus Kostengründen nicht möglich. Eine zu weit gehende technische Komplizierung wäre auch nicht sinnvoll, da diese wiederum Rückwirkungen auf die Kooperationsfähigkeit des Patienten hätte. Eine Standardisierung der Gesichtsfeld-Untersuchungsgeräte ist jedoch wichtig, da für die Vergleichbarkeit verschiedener Befunde von einer standardi-

sierten Umfeldleuchtdichte und einer Konstanz der Lichtreize ausgegangen werden soll. Bei dem Perimeter nach Goldmann ist diese gewünschte Standardisierung in hohem Maße erreicht (SCHOESSLER und UNIACKE, 1977). Auch von dem in dieser Studie angewandten Computer-Perimeter nach Krakau und Heijl werden die Standardisierungsgrundbedingungen erfüllt. Die Untersuchungsfehler, die durch das Gerät selbst verursacht werden,sind bei beiden Methoden sicher vernachlässigbar klein gegenüber den Schwankungen, die durch Patient und Arzt entstehen.
Untersuchungsstrategien wären theoretisch und praktisch beliebig verfeinerbar und könnten bis zu einem hohen Maß an Genauigkeit alle Bereiche des Gesichtsfeldes erfassen, jedoch würde die Untersuchungszeit viel zu lange dauern und die Mehrzahl der Patienten überfordern. HEIJL (1977) hat nachgewiesen, daß eine Verlängerung der Untersuchungszeit eine Verschlechterung der Befundkonstanz ergibt. Ein nachgewiesenes Skotom wird bei Überforderung des Patienten von Untersuchung zu Untersuchung größer angegeben. Mit nachlassender Konzentration des Patienten wird die Reizbeantwortung sehr schnell schlechter (HEIJL und KRAKAU, 1974; SPAHR, 1975). Aus diesem Grunde wird von LEYDHECKER (1973) gefordert, daß eine perimetrische Untersuchung des Auges beim Durchschnittspatienten nicht länger als zehn Minuten dauern sollte.
Ein wichtiger Aspekt der Gesamtvariabilität der Gesichtsfelduntersuchung bei der kinetischen Perimetrie nach Goldmann ist die Subjektivität des Untersuchers. Insbesondere bei der wiederholten Perimetrie des gleichen Patienten durch verschiedene Untersucher mit dem Goldmann-Perimeter wurden große Streuungen zwischen den einzelnen Befunden nachgewiesen (LEYDHECKER, 1976). Dieser Teil der Beobachtervarianz läßt sich jedoch weitgehend vermeiden durch den Einsatz moderner Technologie im Sinne von computergesteuerten Testprogrammen, wobei das Anbieten und Abfragen der Lichtreize in verschiedenen Bereichen des Gesichtsfeldes einem Computer überlassen wird, der in gewissem Sinne einen "standardisierten Untersucher" darstellt.
Die in der vorliegenden Studie verwendeten Perimeter sind wesentlich unterschiedlich. Die kinetische Handperimetrie nach Goldmann unterliegt voll der Subjektivität des Untersuchers,

während das Computer-Perimeter nach Krakau/Heijl eine Varianz der Befunderhebung durch den Untersucher selbst nicht kennt. Besonders unsicher ist die Befunderhebung im zentralen Gesichtsfeld mit Hilfe der kinetischen Perimetrie nach Goldmann, da dieser Gesichtsfeldbereich auf der Projektionshalbkugel für die Lichtreize räumlich besonders stark komprimiert ist.
Somit spielt die Geschwindigkeit, mit der die Testmarke vom Untersucher aus dem nicht sehenden in den sehenden Bereich bewegt wird, eine ganz entscheidende Rolle (SCHMIDT, 1960, 1965, 1969, 1971; FANKHAUSER, 1969; GREVE, 1973). Es ist ganz dem Feingefühl des Untersuchers und seiner individuellen Stimmung überlassen, wie und mit welcher Geschwindigkeit er die Testmarke bewegt (AULHORN, 1976). Das ist wohl einer der Hauptgründe für die große Untersuchervarianz der kinetischen Perimetrie bei krankhaften Befunden im zentralen Gesichtsfeldbereich.
Die kinetische Perimetrie wird nach AULHORN (1971) grundlegend charakterisiert durch:

1) eine horizontale Untersuchungsrichtung der Testmarke;
2) eine konstante Leuchtdichte der Testmarke;
3) variable Ortskoordinaten der Testmarke.

Aus diesen Faktoren ergeben sich zusammen mit anderen Variablen folgende Nachteile:

1) Die Variabilität der Bewegungsgeschwindigkeit der Testmarke (FANKHAUSER, GIGER, LOTMAR, 1966);
2) Die Variabilität der Bewegungsrichtung der Testmarke (FANKHAUSER, GIGER, LOTMAR, 1966);
3) Die Variabilität der kombinierten Reaktionszeit von Untersucher und Patient (FANKHAUSER, GIGER, LOTMAR, 1966; FANKHAUSER, 1969);
4) Die Problematik der Schwellenbestimmung bei flachem Gefälle des Gesichtsfeldberges (AULHORN, LÜDDEKE, 1977; AULHORN, 1969);
5) Die größere Aufmerksamkeit, die vom Patienten für eine exakte Fixation aufgewandt werden muß, da der Ort, an dem der Testreiz auftaucht, vorausgeahnt werden kann.

Demgegenüber steht die statische Perimetrie, die computergesteuert ausgeführt wird. Sie wird nach AULHORN (1971) bestimmt durch:

1) eine vertikale Untersuchungsrichtung des Testreizes;
2) eine variable Leuchtdichte des Testreizes;
3) konstante Ortskoordinaten der Testreize.

Diese statische, automatisierte Untersuchungstechnik bietet wesentliche Vorteile:

1) Wegfall der Untersuchervarianz: Der Computer ist ein unveränderbarer, standardisierter Untersucher.
2) Die Teststrategie ist in einem Programm unveränderlich festgelegt: Konstanz des Untersuchungsablaufes (FANKHAUSER, SPAHR, BEBIE, 1977).
3) Die vertikale Untersuchungsrichtung stellt keine Bewegung der Lichtmarke entlang des Gesichtsfeldberges dar (waagrechte Untersuchungsrichtung, wie in Abbildung 2 dargestellt), sondern ein senkrechtes Eintauchen der Testreize in Defekte im Gesichtsfeldberg (siehe Abbildung 6; AULHORN, 1969).
4) Die Fixation wird dem Patienten erleichtert durch eine randomisierte Testreizdarbietung (GLOSTER, 1967; HEIJL, 1977; KRAKAU, 1978).
5) Die Untersuchung ist auch durch nicht mit der Perimetrie vertraute Hilfskräfte möglich.

Aus den genannten Gründen sollte sich bei der statischen, computergesteuerten Perimetrie eine größere Konstanz der Befunderhebung bei wiederholter Perimetrie des gleichen Auges ergeben als bei der kinetischen Handperimetrie. Es ist natürlich grundsätzlich schwierig, zwei so unterschiedliche Systeme hinsichtlich der Varianz der Befunderhebung miteinander zu vergleichen. Deshalb wurden in der vorliegenden Studie Kriterien definiert, mit denen ein mit hoher Sicherheit pathologisches Gesichtsfeld mit der computergesteuerten und mit der kinetischen Perimetrie von einem normalen Gesichtsfeld abgegrenzt wurde.

Die Einteilung der Befunde des zentralen Gesichtsfeldes bei wiederholter Untersuchung mit beiden Methoden in normale und in pathologische Ergebnisse, erlaubte somit einen quantitativen Vergleich von kinetischer und computergesteuerter, statischer Perimetrie bezüglich ihrer Reproduzierbarkeit. Die Differenzierung der Ergebnisse wiederholter Untersuchungen mit der kinetischen Perimetrie durch Unterteilung in "kleine und große Unterschiede",

wie sie von CALIXTO et al. (1978) vorgenommen wurde, erschien für die vorliegende Studie wegen der Subjektivität der Deutung des Gesichtsfeldbefundes nicht geeignet. Über die Definition eines normalen und pathologischen zentralen Gesichtsfeldes bei beiden Methoden hinaus, wurden in dieser Studie Parameter gewählt, die eine quantitative Wertung des Unterschiedes zwischen Erst- und Zweituntersuchung für beide Methoden zuließen und eine Abhängigkeit von anderen Faktoren, wie Alter des Patienten, Sehschärfe usw. mit berücksichtigen ließen.
Bei der kinetischen Perimetrie ergab der Vergleich des Isopterenverlaufes zwischen Erst- und Zweituntersuchung des zentralen kinetischen Gesichtsfeldes eine Zunahme des Unterschiedes des Isopterenverlaufes bei den größeren, lichtintensiveren Reizmarken. Die mittlere Differenz des Isopterenverlaufes in den 12 Kardinalrichtungen lag für die Lichtmarke I/1 bei 2,53 Grad. Dies stimmt mit den Ergebnissen von NIESEL (1970) überein, der fand, daß die Streuungen meist mehr als zwei Grad betragen. Außerhalb des zentralen Gesichtsfeldes war eine deutliche Zunahme im Unterschied des Isopterenverlaufes zwischen Erst- und Zweitbefund zu bemerken. Hierbei zeigten besonders die Lichtmarken III/4 und V/4 bei der Bestimmung des peripheren Gesichtsfeldes eine erhebliche Varianz.
Die mittleren Differenzen im Isopterenverlauf der Lichtmarken I/1, I/2, I/3 und I/4 zeigten keine signifikante Abhängigkeit vom Alter der untersuchten Patienten. Auch NIESEL (1970) fand diese Unabhängigkeit der Differenzen vom Lebensalter der untersuchten Testpersonen. Beurteilt man den unterschiedlichen Isopterenverlauf in den zwei Untersuchungsgängen in Abhängigkeit von der Sehschärfe des Patienten, so war eine geringfügige Zunahme der Befundunsicherheit bei der Patientengruppe mit der geringeren Sehschärfe zu finden. Die Unterteilung der Patienten in zwei Gruppen mit niedrigem und erhöhtem Augeninnendruck ergab keinen signifikanten Zusammenhang zwischen Reproduzierbarkeit kinetischer Gesichtsfeldbefunde und Augeninnendruck.
Diese Ergebnisse zeigen, daß die Unsicherheit der Befunderhebung bei der kinetischen Perimetrie weniger im Patienten selbst als vielmehr in der unterschiedlichen Untersuchungstechnik verschiedener Untersucher liegt. Daraus läßt sich bereits eine Überlegenheit der computergesteuerten, statischen Perimetrie erwarten.

Nach den definierten Kriterien für ein normales bzw. krankhaft verändertes zentrales kinetisches Gesichtsfeld, ergab sich in der vorliegenden Studie eine Übereinstimmung zwischen Erst- und Zweitbefund bei den pathologischen Gesichtsfeldern von 86 %. Bei den im ersten Untersuchungsgang mit der kinetischen Perimetrie als normal befundenen zentralen Gesichtsfeldern ergab sich eine Übereinstimmungsquote mit der Zweituntersuchung von nur 46 %. Die insgesamte Reproduzierbarkeit der kinetischen Perimetrie nach dem globalen Aspekt "normal" oder "pathologisch" betrug somit 72 %.
Ein Vergleich mit den Ergebnissen von CALIXTO et al. (1978) ist nicht möglich, da die Subjektivität der Gesichtsfeldinterpretation von CALIXTO et al. einen exakten quantitativen Unterschied zwischen Erst- und Zweituntersuchung nicht ermitteln läßt. CALIXTO et al. fanden geringe Beobachterdifferenzen in 11,5 % ihrer wiederholten Untersuchungen und erhebliche Differenzen in 5 % der Untersuchungen. Leider wurde nicht angegeben, wie "geringe" und "erhebliche" Differenzen definiert waren. CALIXTO et al. fanden eine Übereinstimmung zwischen den kinetischen Gesichtsfeldbefunden von 83,5 % - ein Ergebnis, das mit den vorliegenden Resultaten dieser Studie nicht verglichen werden kann.
Bei der computergesteuerten, statischen Perimetrie fand sich bei den 163 Doppeluntersuchungen eine oder keine Abweichung der Leuchtdichtestufen zwischen Erst- und Zweituntersuchung in den 64 Positionen des zentralen Gesichtsfeldes in 85,9 % der Testpunkte. Eine Abweichung von mehr als drei Leuchtdichtestufen, eine Differenz, die dem Untersucher wesentlich erscheint, fand sich lediglich in 3,4 % aller Doppelbestimmungen bei den 163 Augen. Man kann davon ausgehen, daß dieser Prozentsatz erheblicher Schwankungen der Schwellenwertbestimmung für einzelne Netzhautorte zwischen Erst- und Zweituntersuchung durch die unterschiedlichen Angaben des Patienten selbst bedingt ist. Diese Fehlerbreite von 3,4 % bei der Befunderhebung mit der Computer-Perimetrie ist nicht eliminierbar und durch den Patienten bedingt. Dies ist bei der Bewertung der maschinell ausgedruckten Befunde des Computer-Perimeters zu berücksichtigen.
Bei den älteren Patienten fand sich eine Differenz von mehr als drei Leuchtdichtestufen in der Doppelbestimmung in 3,9 %

aller Testpunkte, während die jüngeren Patienten diese Differenz nur in 3,0 % der geprüften Testpunkte zeigten. Hiermit zeigte sich also bei der computergesteuerten Perimetrie eine Abhängigkeit der Befundqualität vom Alter des Patienten. Dies spricht für die Einheit der Untersuchung, da es physiologisch scheint, daß die Reaktionsweise der älteren Patienten anders sein müßte als die der jüngeren und bei einer genauen Gesichtsfelduntersuchung dieser Unterschied erfaßbar sein sollte.
Bei den Patienten mit der besseren zentralen Sehschärfe fand sich eine Abweichung von mehr als drei Leuchtdichtestufen in 3,2 %, bei den Patienten mit der geringeren Sehschärfe in 3,7 % der Testpunkte. Wenngleich die Sehschärfe im zentralen Gesichtsfeld in Abhängigkeit von der Exzentrizität der Testpunkte schnell abnimmt und jenseits von 5 Grad sicher für alle Patienten gleich ist, so zeigen die Patienten mit der geringeren zentralen Sehschärfe dennoch die größere Unsicherheit in der Reizbeantwortung, die durch die größeren Anforderungen hinsichtlich der Fixationskonstanz bedingt ist. Bei der subtilen Perimetrie sollte auch dieser Unterschied quantitativ bestimmbar sein.
Auch bei erhöhtem Augeninnendruck fand sich eine geringfügig größere Varianz der Befunderhebung in der Computer-Perimetrie. Besonders bei Patienten mit einem Augeninnendruck über 30 mmHg nahm der Prozentsatz der Differenzen von mehr als drei Leuchtdichtestufen deutlich zu.
Nach HARMS (1950) ist eine sichere Fixation die Voraussetzung für eine gute Perimetrie. Unter diesem Aspekt wurde die Güte der Reproduzierbarkeit des computergesteuerten zentralen Gesichtsfeldes untersucht in Abhängigkeit von der Fixationsgüte. Da bei der Computer-Perimetrie die Fixationsabweichung intermittierend geprüft und quantitativ mit dem Gesichtsfeldergebnis angegeben wurde, war bei dieser Methode der Einfluß der Fixation auf die Konstanz der Gesichtsfeldbefunde gut zu überprüfen. Lag eine Fixationsabweichung während der Untersuchung von 0 % vor, so fand sich keine Differenz in den Leuchtdichtestufen an den geprüften Testpunkten des zentralen Gesichtsfeldes in 55,3 % dieser Testpunkte. Das ist 6,6 % mehr als bei allen Doppelbestimmungen zusammen genommen. Eine Differenz von mehr als drei Leuchtdichtestufen ergab sich bei einer Fixationsabweichung von 0 % in 3,4 % der Testpunkte, bei 1 - 10 % Fixationsabweichung ergaben sich Differenzen von vier und mehr Leuchtdichtestufen in 3,1 %

der Testpunkte. Bei mehr als 10 % Fixationsabweichung kam es zu einem deutlichen Anstieg der großen Differenzen in der Reizbeantwortung bei der Computer-Perimetrie, nämlich von 4,3 %.
Die Genauigkeit der Patientenantworten auf Testreize im zentralen Gesichtsfeld nimmt ab, je weiter die Testpunkte vom Zentrum des Untersuchungsschirmes entfernt liegen. Eine weitere Unsicherheit bei der größeren Exzentrizität im zentralen Gesichtsfeld ist durch die Fassung des Probiergestelles für die Nahkorrektur gegeben. Es fanden sich bei 5 und 10 Grad Exzentrizität Unterschiede von mehr als drei Leuchtdichtestufen zwischen Erst- und Zweitbefund in lediglich 1,9 % bzw. 2,3 % der Testpunkte. Bei 15 und 20 Grad Exzentrizität erhöhte sich die Unsicherheit bei der Beantwortung der Testreize erheblich. Es ergaben sich Abweichungen in mehr als drei Leuchtdichtestufen in 4,5 % bzw. in 6,2 % der Testpunkte. Dieses Phänomen der Abhängigkeit der Reproduzierbarkeit von der Exzentrizität der Testpunkte im zentralen Gesichtsfeld bedarf der sorgfältigen Beobachtung bei der Bewertung von Gesichtsfeldveränderungen bei der Computer-Perimetrie und insbesondere bei der Vorausbeobachtung früher glaukomatöser Gesichtsfeldausfälle. Dies ist wichtig, da besonders im 15-Gradbereich parazentral relative Skotome als Frühzeichen der glaukomatösen Gesichtsfeldschädigung auftreten (DRANCE, 1975; DRANCE, 1969, 1972; TRAQUAIR, 1944).
Die Prüfung der Reproduzierbarkeit der computergesteuerten Gesichtsfelder nach den Kriterien für ein normales und ein krankhaft verändertes Gesichtsfeld ergab eine Übereinstimmung von 89 % bei den pathologischen Gesichtsfeldern und von 86 % bei den normalen Gesichtsfeldern. Damit zeigte sich bei der Computer-Perimetrie eine Gesamtübereinstimmung zwischen erstem und zweitem Befund von 88 %, eine wesentlich bessere Reproduzierbarkeit des Einzelbefundes als bei der kinetischen Perimetrie.
Besonders deutlich zeigt sich die Problematik der Reproduzierbarkeit von Gesichtsfeldbefunden bei der Prüfung des blinden Flecks. In der Umgebung des blinden Flecks waren die Antworten der Untersuchten unsicherer, das heißt sie zeigten eine größere Schwankungsbreite. Daher fanden sich auch bei der Computer-Perimetrie zwischen Erst- und Zweituntersuchung eine Differenz von mehr als drei Leuchtdichtestufen in der Umgebung des blinden Flecks in

7,2 % der Testpunkte. Diese Abweichung ist mehr als doppelt so hoch wie bei der Berücksichtigung aller Testpunkte im zentralen Gesichtsfeld. Erklärt ist das Phänomen nach AULHORN (1967, 1969) durch ein besonders flaches Gefälle des Gesichtsfeldberges in der Umgebung des blinden Flecks, wodurch zum Beispiel die kinetische Perimetrie in diesem Teil des zentralen Gesichtsfeldes sehr unsicher ist. Außerdem besteht zwischen dem Eintritt des Sehnerven in die Netzhaut und der sehenden Netzhaut kein scharfer Übergang. Nach DONOVAN, WEALE und WHEELER (1978) ist die Variabilität der Patientenantworten am größten an den Stellen der Netzhaut, an denen die Empfindlichkeit für Lichtreize herabgesetzt ist, also in relativen Skotombereichen.
Die Überprüfung der Reproduzierbarkeit für einen normal großen und einen vergrößerten blinden Fleck ergab bei den kinetischen Gesichtsfeldbefunden eine Übereinstimmung in 74 % der Fälle, während bei der computergesteuerten Perimetrie sich eine Übereinstimmung von 89 % ergab. Die weitere Unterscheidung der Reproduzierbarkeit hinsichtlich der quantitativen Ausdehnung des blinden Flecks ergab am Goldmann-Perimeter lediglich eine Übereinstimmung von 34 % zwischen Erst- und Zweitbefund. Bei der Computer-Perimetrie lag die Übereinstimmung immerhin bei 78 %. Von oben gleichsam in den Gesichtsfelddefekt einzutauchen wie bei der statischen Perimetrie,erwies sich,gerade bei der Untersuchung in der Umgebung eines Skotoms,als besonders vorteilhaft.
Der Vergleich beider Untersuchungsmethoden zeigt, daß unter kontrollierten Vergleichsbedingungen die computergesteuerte, statische Perimetrie der kinetischen Perimetrie des zentralen Gesichtsfeldes deutlich überlegen ist. Eine größere Genauigkeit der statischen, nicht computergesteuerten Perimetrie fanden DRANCE, WHEELER und PATULLO (1967). Ebenso wiesen FANKHAUSER und SCHMIDT (1960) und HARMS (1969) auf die größeren Streuungen hin, die bei der Perimetrie mit bewegten Reizmarken, also bei der kinetischen Untersuchungsmethode, auftraten. Auf die Bedeutung der Ungenauigkeit der Befunderhebung im zentralen Gesichtsfeld mit der kinetischen Perimetrie verwiesen ebenso FRANCOIS und VERRIEST (1976). Die bessere Vergleichbarkeit der Resultate bei der computergesteuerten Perimetrie gegenüber der kinetischen Handperimetrie beschrieben auch HEIJL und KRAKAU (1975) und HEIJL

(1976, 1977).
Bessere Ergebnisse der kinetischen Perimetrie erhält man, wenn bei wiederholten Untersuchungen der gleich geübte Perimetrist das Gesichtsfeld anfertigt (KOERNER, FANKHAUSER, BEBIE, SPAHR, 1977; FANKHAUSER, 1978; AULHORN, 1978). Die Variabilität der Befunderhebung bei der kinetischen Perimetrie durch verschiedene Untersucher ist jedoch immer größer als bei der statischen, computergesteuerten Perimetrie, wie dies auch für andere Computer-Perimeter beschrieben wurde (FANKHAUSER, SPAHR, BEBIE, 1977).

Eine bessere Reproduzierbarkeit der Gesichtsfelduntersuchung bei der automatischen Perimetrie gegenüber der statischen, nicht automatischen, Perimetrie beschrieben auch AULHORN und DURST (1977). Diese Ergebnisse werden durch Untersuchungen von GRIGNOLO et al. (1977) unterstützt.
Die in der vorliegenden Studie aufgeführten klinischen Beispiele verdeutlichen besonders die Schwachstellen der kinetischen Perimetrie. Das sind vor allen Dingen Bogenskotome im Bjerrumbereich, kleine Skotome in der Umgebung des blinden Flecks, die sich bei der kinetischen Perimetrie meist als das unspezifische Zeichen der Aussparung des blinden Flecks bemerkbar machen (AULHORN, 1967), was wiederum häufig als Refraktionsskotom fehlgedeutet wird. Bei größeren Gesichtsfeldausfällen, wie zum Beispiel einer Quadrantenanopsie, sind beide Perimetriermethoden gleich gut.

Kleine isolierte Gesichtsfeldausfälle zu entdecken, ist jedoch schwierig oder unmöglich mit der kinetischen Perimetrie für einen in dieser Methode nicht sehr geübten Untersucher. Gerade bei der Frühdiagnose des chronischen Glaukoms mit der zentralen Frage kleiner Gesichtsfeldausfälle innerhalb 30 Grad Exzentrizität, ist als entscheidender Vorteil die computergesteuerte, statische Perimetrie zu sehen.
Die zu Beginn der Ausführungen gestellte Prämisse, daß durch den Wegfall der Untersuchersubjektivität die Reproduzierbarkeit von Gesichtsfeldbefunden mit dem Computer-Perimeter sehr viel besser sein müßte als mit der kinetischen Handperimetrie, ließ sich quantitativ eindrucksvoll belegen.

V. Schlußfolgerungen

Aus den vorliegenden Ergebnissen lassen sich zusammenfassend folgende Schlußfolgerungen ziehen:

1. Bei der Einteilung der 163 Doppeluntersuchungen mit dem kinetischen Perimeter in normale und krankhaft veränderte zentrale Gesichtsfelder ergab sich eine Übereinstimmung zwischen Erst- und Zweitbefund von 72 %.
2. Durch den Wegfall der Subjektivität des Untersuchers ergab sich bei der computergesteuerten, statischen Perimetrie eine Reproduzierbarkeit der Gesichtsfeldbefunde zwischen Erst- und Zweituntersuchung von 88 %.
3. Bei der quantitativen Untersuchung der Differenz zwischen Erst- und Zweitbefund bei der kinetischen Perimetrie fand sich keine Abhängigkeit vom Alter der Patienten und vom Augeninnendruck, jedoch eine Abhängigkeit von der zentralen Sehschärfe.
4. Bei der statischen, computergesteuerten Perimetrie zeigte sich eine Abhängigkeit der beobachteten Differenzen zwischen Erst- und Zweitbefund vom Alter und von der Sehschärfe.
5. Ebenso zeigte sich eine Abhängigkeit der beobachteten Differenzen beider Computergesichtsfelder des gleichen Auges vom Augeninnendruck und der Exzentrizität der Prüfpunkte.
6. Es zeigte sich ein deutlicher Einfluß der Fixationsgüte auf die Unterschiede zwischen Erst- und Zweitbefund zweier Computergesichtsfelder des gleichen Auges.
7. In der Umgebung des blinden Flecks ist die Varianz der Untersuchungsergebnisse sowohl bei der kinetischen Perimetrie als auch bei der computergesteuerten Perimetrie größer als im übrigen zentralen Gesichtsfeld. Die Unsicherheit der Perimetrie des blinden Flecks ist jedoch bei der kinetischen Perimetrie sehr viel größer als bei der Computer-Perimetrie im Vergleich zum übrigen zentralen Gesichtsfeld.
   Eine unterschiedliche Größe zwischen Erst- und Zweitbefund des blinden Flecks wurde bei der kinetischen Perimetrie in 66 % der Fälle, bei der Computer-Perimetrie lediglich in 22 % der Fälle gefunden.

8. Der Vorteil der statischen, computergesteuerten Perimetrie liegt vor allen Dingen im Wegfall der Untersuchervarianz. Der Computer kann als ein standardisierter Untersucher gelten mit einer elektronisch fixierten Untersuchungstechnik.
9. Die computergesteuerte, statische Perimetrie ist bei allen Patienten anwendbar, die auch mit der kinetischen Perimetrie untersucht werden können.

VI. Zusammenfassung

Es wurden unter kontrollierten Untersuchungsbedingungen (dem Zweituntersucher bei der kinetischen Perimetrie waren die Vorbefunde jeweils unbekannt) die Differenzen zwischen Erst- und Zweitbefund bei der Perimetrie des zentralen Gesichtsfeldes unter Anwendung des kinetischen Perimeters nach Goldmann und des computergesteuerten, statischen Perimeters nach Krakau/Heijl untersucht.

In definierten Zeitabständen wurden bei 163 Augen von 101 Patienten zweimal ein kinetisches Gesichtsfeld von einander unabhängigen Untersuchern gewonnen und zweimal ein computergesteuertes, statisches Gesichtsfeld. Die Abweichungen zwischen Erst- und Zweitbefund wurden nach quantitativen Parametern statistisch untersucht.

Die Übereinstimmung zwischen Erst- und Zweitbefund bei der kinetischen Perimetrie lag bei Einteilung in normale und in krankhaft veränderte Gesichtsfelder bei 72 %, bei der Computer-Perimetrie lag sie bei 88 %.

Die Perimetrie des blinden Flecks zeigte sich bei der kinetischen Perimetrie deutlich unsicherer (Übereinstimmung von 74 %) als bei der Computer-Perimetrie (Übereinstimmung von 89 %).

Die verbesserte Reproduzierbarkeit der Gesichtsfeldbefunde bei mehrfachen Untersuchungen des gleichen Auges bei der statischen, computergesteuerten Perimetrie ist im Wegfall der Untersuchervarianz zu sehen. Der Computer stellt einen unveränderlichen, standardisierten Untersucher dar, der mit seiner festgelegten Teststrategie einen standardisierten Untersuchungsablauf garantiert.

Die Ausführung der Computer-Perimetrie ist einfach und auch durch nicht geschultes Personal möglich.

Alle Patienten, bei denen eine kinetische Perimetrie möglich ist, können auch am Computer-Perimeter untersucht werden.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Privatdozenten Dr. med. G. K. Krieglstein für die Überlassung des Themas, für die freundliche Beratung bei der Abfassung der Arbeit und für die Übernahme des Referates.

Herrn Professor Dr. Dr. h. c. W. Leydhecker danke ich für wertvolle Hinweise und für die Übernahme des Korreferates.

Bei Herrn Dr. med. E. Gramer bedanke ich mich für die Hilfestellung in Fragen der Methodik.

VII. Literaturverzeichnis

AULHORN, E. und HARMS, H.: Early Visual Field Defects in Glaucoma. In: Glaucoma, Symp. Tutzing Castle 1966. S. 151-186. Basel, New York (1967).

AULHORN, E.: Glaukom-Gesichtsfeld. Ophthalmologica 158, 469-487 (1969).

AULHORN, E.: Klinische Funktionsprüfung beim Glaukom. In: Glaukom-Probleme, S. 15-27. Bücherei des Augenarztes, 56. Heft, Stuttgart (1971).

AULHORN, E.: Perimetrie. In: Almanach für die Augenheilkunde 1973. S. 209-220. München (1973).

AULHORN, E.: Über die Automatisierung der perimetrischen Untersuchung. Die Wahl der Untersuchungsstrategie aus augenärztlicher Sicht. Biomed. Tech. 20, Ergänzungsband (1975).

AULHORN, E., GAUGER, E. und HAGMEYER, H. T.: Über die Automatisierung der perimetrischen Untersuchung. Biomed. Tech. 20, Ergänzungsband, 309-310 (1975).

AULHORN, E.: Einfache perimetrische Methoden für die Erfassung der glaukomatösen Frühausfälle. In: LEYDHECKER, W. (Hrsg.): Glaukom-Symposion Würzburg, 1974. S. 117-129. Stuttgart (1976).

AULHORN, E. und DURST, W.: Comparative investigation of automatic and manual perimetry in different visual field defects. 2nd Int. Vis. Field Symp. Tübingen 1976. Doc. Ophthal. Proc. Ser. 14, 17-22 (1977).

AULHORN, E. und LÜDDEKE, H.: Das periphere Gesichtsfeld. Ber. dt. Ophthalmol. Ges. 74, 33-42 (1977).

AULHORN, E.: The Pros and Cons of Quick-Tests in Glaucoma Perimetry. Vortrag, Glaukom-Symposion Nara/Japan (1978).

BEBIE, H., FANKHAUSER, F. und SPAHR, J.: Static Perimetry: Strategies. Acta Ophthal. 54, 325-338 (1976).

BEBIE, H., FANKHAUSER, F. und SPAHR, J.: Static Perimetry: Accuracy and fluctuations. Acta Ophthal. 54, 339-348 (1976).

BENGTSSON, B. und KRAKAU, C. E. T.: Automatic Perimetry in secondary prevention of glaucoma. A preliminary report. Vortrag, Glaukom-Symposion Nara/Japan (1978).

BERRY, V., DRANCE, S. M. und WIGGINS, R. L.: An evaluation of differences between two observers plotting and measuring visual fields. Canad. J. Ophthal. 1, 297-300 (1966).

BLUM, F. G., GATES, L. K. und JAMES, B. R.: How important are peripheral fields? Arch. Ophthal. 61, 1-8 (1959).

CALIXTO, N., WAISBERG, Y., COSTA, G. P. und GOMES, M. A.: Kinetic Perimetry - Inter-Observer Variations. Vortrag, Glaukom-Symposion Nara/Japan (1978).

DODT, E.: Lichtsinn. In: KEIDEL, W. D. (Hrsg.): Kurzgefaßtes Lehrbuch der Physiologie. 4. Aufl. Stuttgart (1975).

DONOVAN, H. C., WEALE, R. A. und WHEELER, C.: The perimeter as a monitor of glaucomatous changes. Br. J. Ophthal. 62, 705-708 (1978).

DRANCE, S. M., WHEELER, C. und PATTULLO, M.: The use of static perimetry in the early detection of glaucoma. Canad. J. Ophthal. 2, 249-258 (1967).

DRANCE, S. M.: The early field defects in glaucoma. Invest. Ophthalmol. 8, 84-91 (1969).

DRANCE, S. M.: The glaucomatous visual field. Invest. Ophthalmol. 11, 85-97 (1972).

DRANCE, S. M.: Visual field defects in glaucoma. In: Symposium on glaucoma. Transactions of the New Orleans Academy of Ophthalmology. S. 190-209. St. Louis (1975).

DRASCHE, H., ESSING, H.-G. et al.: Ökologischer Kurs: Teil Arbeitsmedizin. Stuttgart (1976).

DUBOIS-POULSEN, A.: Le Champ Visuel. Paris (1952).

FANKHAUSER, F. und SCHMIDT, T.: Die optimalen Bedingungen für die Untersuchung der räunlichen Summation mit stehender Reizmarke nach der Methode der quantitativen Lichtsinnperimetrie. Ophthalmologica 139, 409-423 (1960).

FANKHAUSER, F., GIGER, H. und LOTMAR, W.: A new attachment for the Goldmann perimeter. Its precision, limitations and clinical applications. Am. J. Ophthal. 62, 885-892 (1966).

FANKHAUSER, F.: Kinetische Perimetrie. Ophthalmologica 158, 406-418 (1969).

FANKHAUSER, F., KOCH, P. und ROULIER, A.: On Automation of Perimetry. A. v. Graefes Arch. klin. exp. Ophthal. 184, 126-150 (1972).

FANKHAUSER, F., SPAHR, J. und BEBIE, H.: Three years of experience with the OCTOPUS Automatic Perimeter. 2nd Int. Vis. Field Symp., Tübingen 1976. Doc. Ophthal. Proc. Ser. 14, 7-15 (1977).

FANKHAUSER, F., SPAHR, J. und BEBIE, H.: Some Aspects of the Automation of Perimetry. Surv. Ophthalmol. 22, 131-141 (1977).

FANKHAUSER, F.: Automated Perimetry. In: Glaucoma. Conceptions of a disease. Ed.: HEILMANN, K. und RICHARDSON, K. T., S. 204-211. Stuttgart (1978).

FRANCOIS, J. und VERRIEST, G.: Untersuchung des Gesichtsfeldes. In: STRAUB, W. (Hrsg.): Die ophthalmologischen Untersuchungsmethoden. Bd. 2. Stuttgart (1976).

GAUGER, E.: Computer simulation of examination procedures for the automatic "Tübinger Perimeter". 2nd Int. Vis. Field Symp.,Tübingen 1976. Doc. Ophthal. Proc. Ser. 14, 31-36 (1977).

GLOSTER, J.: Automatic Visual Field Tests. Proc. R. Soc. Med. 60, 65-68 (1967).

GOLDMANN, H.: Grundlagen exakter Perimetrie. Ophthalmologica 109, 57-69 (1945).

GOLDMANN, H.: Ein selbstregistrierendes Projektionskugelperimeter. Ophthalmologica 109, 71-79 (1945).

GOLDMANN, H.: Lichtsinn mit besonderer Berücksichtigung der Perimetrie. Ophthalmologica 158, 362-386 (1969).

GOLDMANN-Perimeter 940. Gebrauchsanleitung. Hersteller: HAAG-STREIT AG, Liebefeld/Schweiz.

GRAEFE, A. v.: Über die Untersuchung des Gesichtsfeldes bei amblyopischen Affektionen. Graefes Arch. Ophthal. 2, 258-298 (1856).

GREVE, E. L.: Single and multiple stimulus static perimetry in glaucoma; the two phases of perimetry. Doc. Ophthal. 36 (1973).

GREVE, E. L., GROOTHUYSE, M. T. und VERDUIN, W. M.: Automation of Perimetry. Doc. Ophthal. 40, 243-254 (1976).

GREVE, E. L., GROOTHUYSE, M. T. und BAKKER, P.: Simulated Automatic Perimetry. 2nd Int. Vis. Field Symp., Tübingen 1976. Doc. Ophthal. Proc. Ser. 14, 23-29 (1977).

GRIGNOLO, A. ZINGIRIAN, M., FRUGONE, G., GIANOTTI, E. und TAGLIASCO, V.: The Visual Field Examination and its Automation. Doc. Ophthal. 43, 45-50 (1977).

HAASE, G.: Physikalische Grundlagen. 2. Aufl. Frankfurt a. M. (1971).

HACHE, J. C., DUBOIS, P. und LEFLON, G.: Recherche sur la perimetrie automatique. Lille Medical 21, 852-856 (1976).

HARMS, H.: Entwicklungsmöglichkeiten der Perimetrie. A. v. Graefes Arch. Ophthal. 150, 28-57 (1950).

HARMS, H.: Die Technik der statischen Perimetrie. Ophthalmologica 158, 387-405 (1969).

HARRINGTON, D. O.: The Art of Perimetry. Am. J. Ophthal. 80, 414-416 (1975).

HARRINGTON, D. O.: The Visual Fields. 4th edition. St. Louis (1976).

HARTEN, H.-U.: Physik für Mediziner. Berlin, Heidelberg (1974).

HEIJL, A. und KRAKAU, C. E. T.: Preliminary experiences with an automatic static perimeter. Symp. Int. Champ Vis. L'année thér. clin. Ophthal. 25, 364-370 (1974).

HEIJL, A. und KRAKAU, C. E. T.: An automatic static perimeter, design and pilot study. Acta Ophthal. (Kbh.) 53, 293-310 (1975).

HEIJL, A. und KRAKAU, C. E. T.: An Automatic Perimeter for Visual Field Screening and Control. Construction and Clinical Cases. A. v. Graefes Arch. klin. exp. Ophthal. 197, 13-23 (1975).

HEIJL, A.: Automatic Perimetry in Glaucoma Visual Field Screening. A. Clinical Study. A. v. Graefes Arch. klin. exp. Ophthal. 200, 21-37 (1976).

HEIJL, A.: Time changes of contrast thresholds during automatic perimetry. Acta Ophthal. (Kbh.) 55, 696-708 (1977).

HEIJL, A.: Computer test logics for automatic perimetry. Acta Ophthal. (Kbh.) 55, 837-853 (1977).

HEIJL, A. und KRAKAU, C. E. T.: A note on fixation during perimetry. Acta Ophthal. (Kbh.) 55, 854-861 (1977).

HEIJL, A.: Studies on Computerized Perimetry. Acta Ophthal. (Kbh.), Suppl. 132, 1-42 (1977).

HEIJL, A.: Computerized glaucoma visual field screening. 2nd Int. Vis. Field Symp., Tübingen 1976. Doc. Ophthal. Proc. Ser. 14, 47-51 (1977).

KEIDEL, W. D.: Sinnesphysiologie. Teil I: Allgemeine Sinnesphysiologie. Visuelles System. 2. Aufl. Berlin, Heidelberg (1976).

KOCH, P., ROULIER, A. und FANKHAUSER, F.: Perimetry - The information theoretical basis for its automation. Vision Res. 12, 1619-1630 (1972).

KOERNER, F., FANKHAUSER, F., BEBIE, H. und SPAHR, J.: Threshold noise and variability of field defects in determinations by manual and automatic perimetry. 2nd Int. Vis. Field Symp., Tübingen 1976. Doc. Ophthal. Proc. Ser. 14, 53-59 (1977).

KRAKAU, C. E. T.: Aspects on the design of an automatic perimeter. Acta Ophthal. (Kbh.) 56, 389-405 (1978).

LAUBER, H.: Das Gesichtsfeld. In: Augenheilkunde der Gegenwart, Bd. 3. München, Berlin (1944).

LEYDHECKER, W.: Glaukom. Ein Handbuch. 2. Aufl. Berlin, Heidelberg (1973).

LEYDHECKER, W.: Glaukom in der Praxis. Ein Leitfaden. 2. Aufl. Berlin, Heidelberg (1973).

LEYDHECKER, W. (Hrsg.): Glaukom-Symposion Würzburg 1974. Diskussion, S. 140-148. Stuttgart (1976).

LEYDHECKER, W.: Grundriß der Augenheilkunde. 19. Aufl., Berlin, Heidelberg (1976).

NIESEL, P.: Untersuchungen zur Variabilität perimetrischer Untersuchungsergebnisse. 20. Int. Kongr. Ophthal., München 1966. Excerpta Med. Found., S. 639-644, Amsterdam (1967).

NIESEL, P.: Streuungen perimetrischer Untersuchungsergebnisse. Ophthalmologica 161, 180-186 (1970).

PORTNEY, G. L. und KROHN, M. A.: Automated Perimetry: Background, Instruments and Methods. Surv. Ophthalmol. 22, 271-278 (1978).

Profisix-Belichtungsmesser. Gebrauchsanleitung. Hersteller: GOSSEN GmbH, Erlangen.

SCHMIDT, T.: Über die Gesichtsfelduntersuchung am Goldmann-Perimeter. Hrsg.: HAAG-STREIT AG, Liebefeld/Schweiz (1960).

SCHMIDT, T.: Kurzes Repetitorium der klinischen Perimetrie. Ophthalmologica 149, 250-265 (1965).

SCHMIDT, T.: Wichtige Bedingungen für eine korrekte Perimetrie. Ophthalmologica 158, 419-432 (1969).

SCHMIDT, T.: Über die Testmarkengeschwindigkeit und ein neues Registriergerät zum Goldmann-Perimeter. Ophthalmologica 163, 120-127 (1971).

SCHOBER, H.: Methoden und Geräte zur Untersuchung des Gesichtsfeldes. Perimetrie - Kampimetrie - Skotometrie. In: VELHAGEN, K. (Hrsg.): Der Augenarzt, Bd. I. Leipzig (1969).

SCHOESSLER, J. P. und UNIACKE, C. A.: Perimetry: A need for Standardization. Am. J. Optom. & Physiol. Optics 54, 699-702 (1977).

SPAHR, J.: Zur Automatisierung der Perimetrie. I. Die Anwendung eines computergesteuerten Perimeters. A. v. Graefes Arch. klin. exp. Ophthal. 188, 323-338 (1973).

SPAHR, J. und FANKHAUSER, F.: On Automation of Perimetry. Problems and solutions. L'année thér. clin. Ophthal. 25, 337-346 (1974).

SPAHR, J.: Optimization of the presentation pattern in automated static perimetry. Vision Res. 15, 1275-1281 (1975).

SPAHR, J., BEBIE, H. und FANKHAUSER, F.: Die Automatisierung der Perimetrie. (Aussendung der Firma INTERZEAG AG, Schlieren/Schweiz; 1977).

SPAHR, J., FANKHAUSER, F., JENNI, A. und BEBIE, H.: Practical experiences with the OCTOPUS Automatic Perimeter. Klin. Mbl. Augenheilk. 172, 470-477 (1978).

TRAQUAIR, H.: An introduction to clinical perimetry. London (1927).

TRAQUAIR, H.: The nerve-fibre bundle defect. Trans. Ophthalmol. Soc. U. K. 64, 3-23 (1944).

WEBER, B. und SPAHR, J.: Zur Automatisierung der Perimetrie. Darstellungsmethoden perimetrischer Untersuchungsergebnisse. Acta Ophthal. 54, 349-362 (1976).

ZINGIRIAN, M. und TAGLIASCO, V.: Probleme der automatischen Perimetrie. Klin. Mbl. Augenheilk. 170, 542-546 (1977).

ZÜHLKE, G. G.: Das automatische Perimetriersystem OCTOPUS. Der Augenarzt, 12. Jahrg., 108-115 (1978).

L e b e n s l a u f

Am 2. September 1952 wurde ich, Manfred Pröll, als erstes Kind des damaligen Handelsvertreters Alfred Pröll und seiner Ehefrau Erna, geb. Stöhr, in Schweinfurt geboren.

Von September 1958 bis Juli 1961 besuchte ich die Volksschule in Schweinfurt-Oberndorf und im Schuljahr 1961/62 die Volksschule in Schweinfurt-Bergl. Nach bestandener Aufnahmeprüfung trat ich im September 1962 in das damalige Humanistische Gymnasium über. Im Jahr 1966 wählte ich den neusprachlichen Zweig der Schule und erhielt im Juni 1971 das Reifezeugnis.

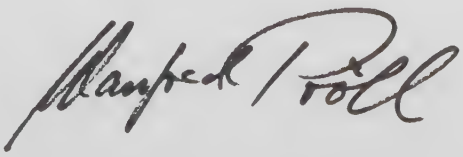
Als anerkannter Kriegsdienstverweigerer wurde ich im November 1971 zum zivilen Ersatzdienst eingezogen und leistete diesen bis zum Februar 1973 in der Privatklinik Dr. Kühnlein in Coburg ab.

Im April 1973 begann ich das Studium der Geologie an der Universität Würzburg und wechselte dort im Oktober 1974 in das Studium der Medizin über. Im August 1976 bestand ich die Ärztliche Vorprüfung an der Universität Würzburg, im August 1977 den ersten Abschnitt und im August 1979 den zweiten Abschnitt der Ärztlichen Prüfung.

Am 14. September 1979 heiratete ich die Kinderkrankenschwester Marion Jasef.

Am 14. Oktober 198o bestand ich in Würzburg die Ärztliche Prüfung.

Würzburg, den 21.1o.198o



Druck: Böhler-Verlag 87 Würzburg, Seilerstr. 10-10a